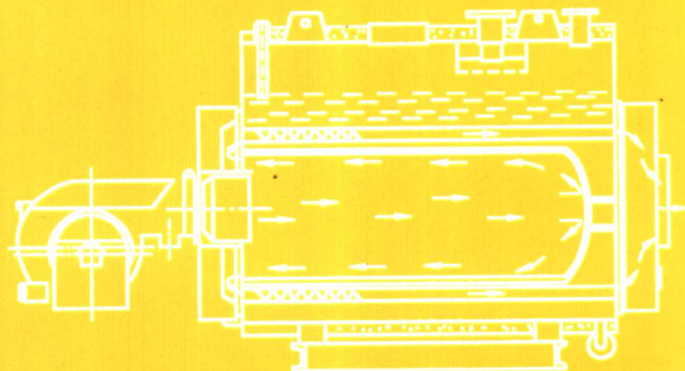
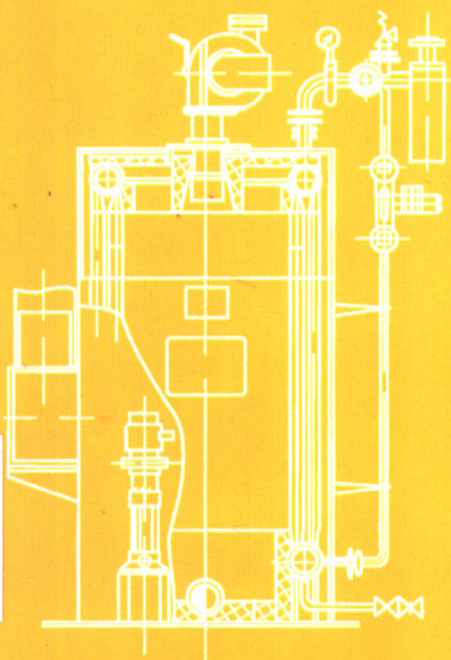
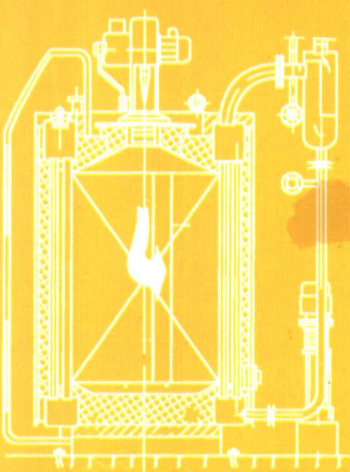


北京市市政管理委员会供热办公室
北京金房暖通节能技术公司
组织编写

燃气供热锅炉 技术培训教材



航空工业出版社

燃气供热锅炉技术培训教材

北京市市政管理委员会供热办公室
北京金房暖通节能技术公司

组织编写

航空工业出版社

内 容 提 要

本书共分十一章,包括锅炉基本知识,燃气锅炉本体的基本结构,燃气燃烧器,燃气锅炉的程序控制器与显示调节仪表,压力、温度、火焰传感器及其控制,水位传感器及水位系统,燃气锅炉的自动控制系统,锅炉辅助设备及汽水系统,燃气锅炉的调试验收与运行,锅炉事故,燃气供热锅炉房节能系统等内容。本书还将《燃气供热蒸汽锅炉运行技术规程》《燃气供热热水锅炉运行技术规程》《燃气供热锅炉房管理制度》的征求意见稿附于书后,供参考并广泛听取意见。

本书不仅能满足燃气供热锅炉司炉人员的需要,而且对锅炉房的管理维修亦有所帮助。本书可作为燃气锅炉供热运行操作管理人员的培训教材,亦可供专业技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃气供热锅炉技术培训教材/北京市市政管理委员会
供热办公室北京金房暖通节能技术公司组织编写. —北
京:航空工业出版社,2004.3

ISBN 7-80183-345-7

I. 燃… II. 北… III. 集中供热—燃气锅炉—技
术培训—教材 IV. TU833

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 022821 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

北京通州京华印刷制版厂印刷

全国各地新华书店经售

2004 年 3 月第 1 版

2004 年 3 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 18.875

字数: 409 千字

印数: 1—3000

定价: 48.00 元

燃气供热锅炉技术培训教材

编审委员会

主任委员 贾建平 郭维圻

副主任委员 杨建勋 温 丽

委 员 (以姓氏笔画为序)

丁 琦 付 英 冯立人 沈贞珉 杨建勋
张志武 张秦丽 徐福安 贾建平 郭维圻
温 丽

作者名单

主 编 沈贞珉
编 写 (以姓氏笔画为序)

冯立人 沈贞珉 杨建勋 张秦丽 徐福安

序

当前，北京市明确提出了要在全中国率先实现现代化的目标，包括：高标准规划城市，高质量建设城市，高效率管理城市，高水平经营城市。市政府提出：奥运会给了北京一个标准，就是与世界接轨，还给了北京一个时间表，到 2008 年，基础设施、环境质量、管理水平要达到国际先进水平。

我们供热行业也正在与时俱进。自 1998 年以来，随着北京阶段性治理大气环境污染的进展要求，我市广泛采用了以天然气为主要清洁能源的供热方式。目前，全市用燃气锅炉供热的建筑面积已达 6 800 万平方米。燃气锅炉的数量大幅度增加，使广大司炉供热技术人员普遍面临着由燃煤到燃气的知识更新问题，暂时还显得不够适应。特别是由于目前尚无《燃气供热锅炉运行技术规程》，使供热企业的燃气锅炉运行管理工作无章可循，近年来在供热过程中不断出现不能保证供热质量、浪费能源、运行费用高和存在安全隐患等一系列问题，造成居民有意见、供热企业有怨气、政府职能部门在管理上无法可依的局面。因此，如何大力加强燃气锅炉供热人员的技术培训和规范燃气供热锅炉的运行管理工作，促进供热节能，降低燃气的供热成本，已经迫切地提到行业管理的议事日程上来。

为了能使供热行业在各层面上工作的专业技术人员全面系统地掌握燃气锅炉的基础知识和操作技术，提高队伍素质，加强技术管理，更好地适应北京市供热锅炉“煤改气”的现实需要，北京市市政管理委员会供热办公室和北京金房暖通节能技术有限公司共同组织有关专家编写了这本《燃气供热锅炉技术培训教材》。同时在该书的附录中，收进了新编写的《燃气供热蒸汽锅炉运行技术规程》《燃气供热热水锅炉运行技术规程》《燃气供热锅炉房管理制度》等三个规程的征求意见稿，其目的是广泛听取业内同行们的意见，经修改完善后，通过试行逐步上升为相关的规程和制度等地方标准。

当前燃气锅炉的技术培训教材很少。北京市“煤改气”这几年积累了一定的管理和技术经验，在《燃气供热锅炉技术培训教材》中皆有所反映。本书的

特点是具有针对性、实用性和先进性，而且通俗易懂。尤其可贵的是它深入浅出，可以广泛适应各个层面上的供热专业技术人员应用参考的需要，是一本难得的普及性培训教材。

《燃气供热锅炉技术培训教材》的出版，必将对提高北京市燃气锅炉供热的运行管理水平，推动供热节能技术的进步，推进供热体制改革，起到积极的作用。建议各供热单位在组织燃气锅炉供热运行管理人员的培训中参考试用，并将补充、修改意见和建议及时反馈到北京金房暖通节能技术公司，以便修改完善。

让我们同心协力，不断进取，为推动北京市供热行业的科技进步和健康发展，为节约能源和保护环境做出新的贡献！

《燃气供热锅炉技术培训教材》编审委员会

2004 年 3 月

前 言

随着近几年北京市燃气锅炉的大幅度增加，如何使广大司炉供热人员尽快适应燃料结构的变化，在“煤改气”后，把燃气供热锅炉的运行管理工作搞好，在保证供热质量的前提下，大力节约燃气，降低供热成本，已成为业内同行十分关注的问题。为此，只有加紧学习、更新知识，才能适应形式发展的需要。

为了帮助各供热单位司炉人员和专业技术人员全面系统地掌握燃气锅炉供热的基础知识、操作技术和节能措施，以便提高运行管理水平，节能降耗，特编写了这本《燃气供热锅炉技术培训教材》。本书可供各供热单位在对相关人员进行技术培训中使用，同时也为逐步规范燃气锅炉供热的运行管理工作，提供一些帮助。

本书共十一章。第一、二、八、十章由沈贞珉教授级高级工程师编写，第四、五、六、七章由徐福安高级工程师编写，第三、九章由冯立人高级工程师编写，第十一章和附录3由杨建勋高级工程师编写，附录1和附录2由张秦丽高级工程师编写。全书由沈贞珉教授级高级工程师统稿。

值得提出的是，本书在附录1~3中，收进了新编写的两个《规程》和一个《制度》的征求意见稿。即：附录1《燃气供热蒸汽锅炉运行技术规程》（征求意见稿）；附录2《燃气供热热水锅炉运行技术规程》（征求意见稿）；附录3《燃气供热锅炉房管理制度》（征求意见稿）。上述《规程》和《制度》十分重要，但目前尚很不成熟，特借此机会广泛听取供热行业同仁的意见和建议，以便修改、完善。限于水平和时间紧迫，书中错误敬请指正。

北京金房暖通节能技术有限公司

杨建勋

2004年3月

目 录

第一章 锅炉基本知识	(1)
第一节 锅炉及其安全	(1)
第二节 燃气及其燃烧	(3)
第三节 传热与受热面	(16)
第四节 水、蒸汽及锅筒 (壳)	(18)
第五节 水循环	(21)
第六节 锅炉规范	(23)
第二章 燃气锅炉本体的基本结构	(29)
第一节 对锅炉本体安全的基本要求	(29)
第二节 锅炉的形式和型号	(30)
第三节 锅壳锅炉	(33)
第四节 水管锅炉	(43)
第五节 铸铁锅炉	(48)
第六节 常规安全附件	(50)
第三章 燃气燃烧器	(55)
第一节 概述	(55)
第二节 燃烧器的结构	(58)
第三节 燃烧器的安装测试	(69)
第四节 燃烧器的使用	(72)
第四章 燃气锅炉的程序控制器与显示调节仪表	(79)
第一节 燃气锅炉的一般控制程序	(79)
第二节 常用程序控制器	(85)
第三节 程序控制器与燃烧器控制电路分析	(90)
第四节 显示调节仪表	(98)
第五章 压力、温度、火焰传感器及其控制	(111)
第一节 压力传感器与压力控制器	(111)
第二节 温度传感器与控制器	(126)
第三节 执行器	(134)
第四节 风门执行器与压力温度控制	(139)

第五节 电磁阀与检漏控制	(145)
第六节 点火与火焰监测	(147)
第六章 水位传感器及水位控制	(153)
第一节 水泵的控制与联锁保护	(153)
第二节 电极式水位传感器与水位控制	(159)
第三节 浮球式水位传感器与水位控制	(163)
第四节 磁控式水位传感器与水位控制	(171)
第五节 电感式水位传感器与水位控制	(178)
第六节 差压式水位测量与多冲量水位控制	(182)
第七章 燃气锅炉的自动控制系统	(189)
第一节 燃气锅炉控制系统的组成	(189)
第二节 WNS2-1.25-Q 型燃气蒸汽锅炉控制系统	(196)
第三节 WNS2.8-1.0/95/70-Q 型燃气热水锅炉控制系统	(200)
第四节 计算机控制系统简介	(203)
第八章 锅炉辅助设备及汽水系统	(206)
第一节 给水设备	(206)
第二节 通风设备	(212)
第三节 锅炉水处理	(215)
第四节 汽水系统	(227)
第九章 燃气锅炉的调试验收与运行	(230)
第一节 蒸汽锅炉的调试及验收	(230)
第二节 热水锅炉的调试及验收	(234)
第三节 锅炉附属设备和锅炉房的整体验收	(237)
第四节 锅炉的点火启动	(238)
第五节 锅炉系统的运行	(240)
第六节 锅炉维护、停炉与保养	(244)
第十章 锅炉事故	(248)
第一节 锅炉事故及分类	(248)
第二节 汽水爆炸事故及防止措施	(249)
第三节 锅炉水位事故及处理	(251)
第四节 水击事故及处理	(253)
第五节 二次燃烧与烟气爆炸事故及处理	(254)
第六节 热水锅炉汽化及处理	(255)

第十一章 燃气供热锅炉房节能系统	(256)
第一节 锅炉房自动控制系统.....	(256)
第二节 烟气冷凝热能回收系统.....	(261)
第三节 水力平衡系统	(263)
附录 1 燃气供热蒸汽锅炉运行技术规程 (征求意见稿)	(265)
附录 2 燃气供热热水锅炉运行技术规程 (征求意见稿)	(274)
附录 3 燃气供热锅炉房管理制度 (征求意见稿)	(282)

第一章 锅炉基本知识

按《锅炉司炉人员考核管理规定》，锅炉司炉人员应具备“压力、温度、介质、燃料、燃烧、传热、水循环等方面的基本知识”。本章介绍了这方面的知识，这是锅炉技术的基础。

第一节 锅炉及其安全

一、锅炉

确切地说，锅炉是一种利用燃料燃烧释放的热能加热给水，以获得规定参数（压力、温度）和品质的蒸汽或热水的设备。

这就是锅炉的功能性定义，它既表述了锅炉的本质特征，也包含了锅炉的全部技术内容。由此可以释出：

1. 锅炉是一种将燃料的能量（一次能源）转换成蒸汽或热水的热能（二次能源）的能源转换设备。

2. 锅炉完成能源转换的全过程是由燃料燃烧、传热和水被加热或汽化三个基本过程组成的。

3. 为完成以上三个基本过程，锅炉必须有燃烧设备（燃烧器）、受热面和锅筒（锅壳）及其内部装置三个基本组成部分。

4. 完整的锅炉设备是由锅炉本体和辅助装置两大部分组成的。

所谓锅炉本体，就是指完成能源转换的主体部分，它包括锅筒（锅壳）、受热面、燃烧设备及炉墙、构架等。

由定义可知，锅炉技术直接涉及了燃料及燃烧、传热、水和蒸汽（工质），以及参数（压力、温度）等基础知识。

燃气供热锅炉就是以可燃气（如天然气）为燃料，在供热系统中作为热源的锅炉设备。与其他燃料相比，燃气锅炉具有以下优点：

1. 锅炉排烟基本无尘，特别是天然气，不仅无尘，而且几乎没有二氧化硫等有害气体，所以有“清洁燃料”之称。

2. 不需要为锅炉设燃料存储设施，也不需要设烟气净化处理设备，所以占地少，初投资相对较低，尤为适宜在城市中使用。

3. 锅炉体积较小，结构紧凑，热效率高。

4. 锅炉的作业性和负荷调节性好，可实现全自动化，以至“无人值班”操作等。

锅炉是一种结构复杂、使用面很广的设备，由于分类方法不同，就形成了众多种类的锅炉。对燃气供热锅炉而言，主要分类方法有以下几种。

1. 按运行时炉膛烟气压力不同,有负压锅炉和微正压锅炉。
2. 按输出介质的状态不同,有热水锅炉和蒸汽锅炉。
3. 按出口介质的压力不同,有低压锅炉和中压锅炉;另外还有常压(无压)锅炉和真空锅炉。
4. 按出口介质的温度不同,热水锅炉有低温热水锅炉和高温热水锅炉;蒸汽锅炉有饱和蒸汽锅炉和过热蒸汽锅炉。
5. 按介质在受热面中流动的动力不同,有自然循环锅炉和强制循环锅炉。
6. 按供热能力大小不同,有小型锅炉、中型锅炉和大型锅炉。
7. 按制造锅炉本体的主要材料不同,有钢制锅炉和铸铁锅炉(个别还有铝制、铜制)。
8. 按锅炉本体结构不同,有锅壳锅炉和水管锅炉。
9. 按控制方式不同,有全自动锅炉、半自动锅炉以及手工操作锅炉。
10. 按出厂(安装)形式不同,有快装锅炉、组装锅炉和散装锅炉。

二、锅炉安全

从锅炉的定义可知,锅炉一旦投入运行,其内部就不断地进行着燃料燃烧,并将产生的热量传递给水,使其被加热到规定温度,或汽化成一定压力的蒸汽的连续过程。这就意味着运行锅炉本身蓄存着巨大的能量,如果由于某种原因使承压的汽水系统元件发生破裂,锅内蓄存的介质就会从破口处喷出而释放出巨大的能量,导致爆炸事故的发生。

对于燃气锅炉,由于燃料是易燃气体,所以因燃烧系统器件发生故障而未及时排除、操作程序不当,以及保护装置失灵等导致燃气爆炸的事故时有发生。

无论是汽水系统的物理爆炸,还是燃气的化学爆炸,其危害都极大,往往导致人员伤亡和财产损失。所以,从安全意义上讲,锅炉是一种具有爆炸危险的承压设备。世界锅炉技术界提出现代化锅炉应当符合“S+3E”的原则,即安全(S)加效率(E)、环保(E)和经济(E)。可见,在锅炉的所有技术经济指标中,安全是前提。为此,世界各国政府对锅炉都实行强制性的管理——安全监察。

我国的锅炉安全监察始于1955年。当年5月,天津市连续发生两起锅炉爆炸事故,造成10人死亡,60多人受伤和巨大的经济损失。当年6月,当时的中央政府政务院即做出决定:在劳动部设立锅炉检查总局,负责全国锅炉安全工作。

1982年2月,国务院颁发了《锅炉压力容器安全监察暂行条例》,开始了对锅炉安全的依法监察。

2003年2月,根据社会发展和安全工作的需要,国务院又重新制定并颁发了《特种设备安全监察条例》(以下简称《条例》)。在《条例》中,锅炉首当其冲的被列为“涉及生产安全、危害性较大的”特种设备。

按《条例》规定,国家对锅炉的生产(含设计、制造、安装、改造、维修)、使用和检验检测各环节实行全面的安全监察。

由于锅炉事故都是在运行使用中发生的,所以《条例》对锅炉使用的设备和人员条

件、正常使用期间的管理和操作、事故的预防和处理，直至锅炉的报废等都作了明确的规定。

《条例》还对锅炉使用单位的负责人、主管人员和作业人员（包括操作和管理人员）违反安全生产的法律、法规的行为的处罚做了明确规定，根据所造成后果的程度不同，规定了各自应承担的法律责任，包括责令改正、吊销上岗证、罚款、批评教育和处分，以及降职、撤职；触犯刑律、构成犯罪的，要依法追究其刑事责任。

第二节 燃气及其燃烧

锅炉工作的第一基本过程就是燃料燃烧释放热能。为了解其过程，首先就应了解有关燃料的特性，燃烧的本质、特点，以及燃气的燃烧方式等。

一、燃气

燃气就是在常温常压下呈气体状态的气体燃料。因为它是可燃性气体，所以一般称为燃气。不少场合称燃气为“瓦斯”或“瓦斯气”，这是英文“gas”的译音。

燃气一般按其来源分为三类，见表 1-1。

表 1-1 燃气按来源分类

种 类	来源及品名
天然燃气	来自自然界（地壳内）的可燃气体，如天然气、石油伴生气等
人造燃气	用固体或液体燃料加工而得的可燃气体，如发生炉煤气、水煤气和油制气等
副产燃气	在钢铁、化工生产过程中得到的一种可燃性气体副产品，如焦炉煤气、高炉煤气等
液化石油气	用天然气或石油炼制过程中取得的油气经加压液化的燃气。因此，它是一种天然和人造燃气的混合物

表 1-1 中所列的燃气均可做锅炉燃料。与所有其他燃料相比，燃气有非常突出的优点：污染小（有绿色或清洁能源之称）、发热量高（天然气和液化石油气）、易于操作调节等。燃气是一种理想的优质锅炉燃料。北京市现在使用的燃气以天然气为主，还有少量焦炉煤气和一部分液化石油气。天然气原来主要来自华北油田，从 1998 年开始，陕甘宁天然气进京并逐年增加。焦炉煤气则来自北京焦化厂等。

二、燃气的组成成分——组分

严格地说，燃气是在空气中可以燃烧的某一种气体——称单一气体，如一氧化碳（CO）、氢气（H₂）、气态碳氢化合物（C_mH_n），以及硫化氢（H₂S）等。这些气体都能与氧发生燃烧氧化反应并放出一定的热量，所以称可燃气体。而天然气、人造燃气及各种副产燃气，不仅都含有多种单一的可燃气体，而且还含有诸如氧气（O₂）、氮气（N₂）、二氧化碳（CO₂），以及水蒸气（H₂O）等不能燃烧的气体。也就是说锅炉及生产、生活中使用的各种燃气，实际上是由多种单一的可燃气体和一些不可燃气体组成的

混合气体。

现在使用的燃气有近 10 个品种，它们基本上就是上述的 8 种单一气体（可燃的和不可燃的各 4 种）的组合。由于各种单一气体在混合气体中所占的份额不同，所以其性质又相差很大。在燃气技术中，将各单一气体占整个混合气体的份额称为组分。组分的计算方法可按容积、质量或分子进行。通常用的是容积组分，即：混合气体中各单一气体的分容积与混合气体总容积之比，并用百分率表示，称为体积组分。如北京用的陕甘宁天然气，已知 1 m^3 的天然气中有 0.96 m^3 的甲烷气 (CH_4)，则该天然气中甲烷的组分就是：

$$\gamma_{\text{CH}_4} = \frac{V_{\text{CH}_4}}{V_r} \times 100\% = \frac{0.96}{1.0} \times 100\% = 96\%$$

式中 γ_{CH_4} ——甲烷的体积组分，%；

V_{CH_4} ——甲烷的分容积， m^3 ；

V_r ——天然气的总容积， m^3 。

显然，对任何一种燃气，其各自的组分之和都是 100%。

应当指出的是，组分是燃气的一个非常重要的指标，它不仅表明燃气中含有哪些单一气体和这些单一气体各自所占的份额，而且还决定着整个混合气体的许多重要特性，如发热量、密度和爆炸极限等。

还需要说明的是，单一气体与混合气体是两个不同的概念。

单一气体，就是纯净的一种气体。每种单一气体都有它固定的构成和性质，也就是不可改变的构成和性质。如一氧化碳 (CO)，它是由一个碳原子和一个氧原子构成的，这种构成不可改变，如果改变了就变成另一种气体了。如加一个氧原子，就由一氧化碳 (CO) 变成了另一种物质二氧化碳 (CO_2) 了。一氧化碳可燃，二氧化碳就不可燃，性质也就变了。表 1-2 列出了燃气中一些单一气体的构成和主要性质。

表 1-2 单一气体的构成和主要性质

名 称	氢	一氧化 碳	甲烷	乙烷	丙烷	丁烷	丙烯	丁烯	其他	二氧化 碳	氧	氮	硫化氢
分子结构	H_2	CO	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_3H_6	C_4H_8	C_mH_n	CO_2	O_2	N_2	H_2S
密度 (kg/m^3)	0.089 8	1.250 1	0.717 4	1.355 3	2.010 2	2.703 0	1.913 6	2.596 8	①	1.976 8	1.428 9	1.250 7	1.539 2
低热值 (MJ/m^3)	10.786	12.636	35.906	64.397	93.240	123.649	87.667	117.695	①				23.383
爆 炸 极 限	下限 (体积%)	4.0	12.5	5.0	2.9	2.1	1.5	2.0	1.6	①			4.3
	上限 (体积%)	75.9	74.2	15.0	13.0	9.5	8.5	11.7	10.0	①			45.5

注：①不明烃 $\leq 3\%$ 时，可按 C_2H_4 处理。

混合气体则不同，它是由多种单一气体组合而成的混合物，它的构成是可以改变的，其性质也随组成变化而变化。如天然气，陕甘宁、大港、重庆出产的天然气，虽然都是天然气，但各自的组成和成分比例就很不同。

常用燃气的主要可燃气体组分范围见表 1-3。

表 1-3 常用燃气的主要可燃气体组分

燃气名称	主要可燃气体	组分 (%)
天然气	CH_4	85~97
石油伴生气	CH_4	85~93
发生炉煤气	$\text{CO} + \text{H}_2$	(26~30) + (10~15)
水煤气	$\text{CO} + \text{H}_2$	(30~40) + (34~53)
油制气	$\text{H}_2 + \text{CH}_4$	(32~58) + (17~29)
焦炉煤气	$\text{H}_2 + \text{CH}_4$	(55~60) + (24~28)
高炉煤气	CO	26~29
液化石油气	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2} + \text{C}_n\text{H}_{2n}^{\text{①}}$	(31~46) + (52~63)

注：① $n=3\sim 4$ ，即烷烃和烯烃。

三、燃气的主要使用特性

表征燃气特性的参数或物理量很多，但就使用而言，除组分外，还必须了解和掌握以下几个重要特性：发热量、密度、华白数，以及爆炸极限等。使用时，对燃气供应的压力和温度也是不可缺少的指标。

1. 发热量（热值）

因为燃气是气态物质，所以其发热量不便于用质量单位来计量，而应以体积为单位进行计量。

气体的一个重要特性是：一定质量的气体，其体积随着温度的升高而增大，随着压力的增加而减小。因此，燃气的发热量是以标准状态下的单位体积来计量的。所谓标准状态，就是指压力为一个标准大气压、温度为 0°C 时的状态，在燃气技术中，除了特别说明的以外，一般都是指标准状态。

发热量就是 1 m^3 的燃气完全燃烧所放出的热量，按国际单位制，热量的单位是焦耳 (J)、千焦耳 (kJ) 等，所以发热量的单位就为 kJ/m^3 。

燃气的发热量分高位发热量和低位发热量两种。所谓低位发热量就是指燃气燃烧后烟气中的水蒸气的汽化潜热未放出的发热量。水蒸气若凝结成水就要放出凝结热量。凝结热量与低位发热量之和就是高位发热量。锅炉的排烟温度一般都超过 100°C ，水蒸气不会凝结，所以实用中一般都用低位发热量，其符号为 Q_{dw}^y 。

常见的几种燃气的热值见表 1-4。

表 1-4 常用燃气的热值

燃气名称	低位发热量 (kJ/m ³)
天然气	35 500~41 900
石油 (田) 伴生气	43 000~48 400
焦炉煤气	13 200~19 200
发生炉煤气:	
空气发生	3 700~4 600
蒸汽发生	10 000~11 300
混合发生	5 000~7 000
油制气	13 000~36 000
高炉煤气	3 900~4 800
液化石油气	88 000~115 100

一般将发热量低于 13 000 kJ/m³ 的燃气称为低热值燃气；13 000~20 000 kJ/m³ 的称为中等热值燃气；高于 30 000 kJ/m³ 的燃气称为高热值燃气，天然气属于高热值燃气。

2. 密度

密度定义是指单位体积的物质质量。对于燃气，如热值中所述，因气体有其体积随压力和温度而发生明显变化的特性，所以，燃气的密度，必须是对某一确定的压力和温度而言。通常，燃气的密度也是指标准状态下的密度，用符号 ρ° 表示。如上所述，因燃气的各组分比例是在一定范围内变化的，所以实用的燃气密度都是平均密度。

实用上还广泛地使用“相对密度”，燃气的相对密度就是燃气的密度与空气密度之比。因空气的标准密度是 1.293 kg/m³，用符号“S”表示相对密度，则

$$S = \frac{\rho^\circ}{1.293}$$

常见的几种燃气的密度列于表 1-5。

表 1-5 常用燃气的密度

燃气名称	平均密度 (kg/m ³)	相对密度
天然气	0.75~0.8	0.58~0.62
石油 (田) 伴生气	0.8~0.9	0.62~0.70
焦炉煤气	0.4~0.5	0.30~0.40
发生炉煤气	0.72~1.16	0.56~0.90
油制气 (重油)		
催化裂解	0.65~0.80	0.50~0.62
非催化裂解	1.05~1.90	0.81~1.50
液化石油气	1.9~2.5	1.5~2.0

平均密度在设计计算等方面用得较多。相对密度对于贮运及使用很有意义。例如，对于天然气，因为它比空气轻得多，所以当有泄漏时总是向上扩散；而发生炉煤气，与空气密度相近，就不易扩散，所以就分布在空气之中；而液化石油气，因其比空气重，所以就会聚积在低处。根据它们的分布不同，就在相应部位采取应有的防火防爆措施。

3. 华白数

陕甘宁天然气进京后，原使用焦炉煤气的地区逐步改为烧天然气。在改烧中，不仅居民用户的灶具和热水器燃具要进行更换，而且锅炉上的燃烧器也需要更换。燃烧器制造厂商在出售的燃烧器说明书上常标有“华白数××”字样。当用户需向厂商订购燃烧器时，厂商除要求用户提供所用燃气压力等参数外，还需要用户提供燃气的“华白数”。

什么是华白数？它有什么实用意义？燃具更换的依据是什么呢？

华白数是一个表征燃气燃烧特性的数值，其值为

$$\text{华白数 } W = \frac{\text{燃气热值 } Q}{\sqrt{\text{相对密度 } S}} \quad \text{MJ/m}^3$$

由此可知，对于一定的燃气，其华白数是一定的。反之，如果燃气发生较大的变化，华白数也随之发生变化。另一方面，所有燃具或燃烧器都不可能是“通用”型的，其设计制造，以及调整只能按一定的燃气进行，也就是它只能适合一定条件的燃气，否则，不仅热负荷达不到，还可能引起回火、脱火等事故的发生。因此，华白数不仅是燃具和燃烧器设计的重要指数（称热负荷指数），而且也是燃具和燃烧器对燃气适应的重要指数，一般将华白指数（简称华白数）划分为三个范围，即

$$W_1 = 21 \sim 35 \text{ MJ/m}^3 \quad (\text{人工煤气})$$

$$W_2 = 17 \sim 59 \text{ MJ/m}^3 \quad (\text{天然气})$$

$$W_3 = 77 \sim 93 \text{ MJ/m}^3 \quad (\text{液化石油气})$$

燃具和燃烧器一般都按 W_1 、 W_2 和 W_3 的范围分别设计制造，也就是燃具或燃烧器对燃气的互换适应性一般只能在同一华白数范围内进行。

4. 爆炸极限

所谓爆炸极限是指燃气（或燃油蒸气）与空气混合后遇火种能够发生高速燃烧的浓度（一般指体积浓度）范围。这个范围的最低值称为爆炸下限，最高值称为爆炸上限。

燃气的爆炸极限是由其组分决定的。可以计算得出，表 1-2 列出了九种单一气体的爆炸极限。燃气的爆炸极限基本决定于其主要成分的爆炸极限。一般情况下，天然气的爆炸极限是 5%~15%；焦炉煤气是 5%~36%；液化石油气是 1.6%~11.1%。爆炸极限范围越大，爆炸下限越低的燃气，其爆炸危险性越大。由此可知，燃气锅炉及锅炉房，防止燃气泄漏至关重要，特别是天然气，因其无色无味（加臭少），发生了泄漏也不易被觉察，而空气是无处不在的，所以很容易形成爆炸混合物。为防止发生爆炸，对燃烧器和锅炉房等都必须设置相应的自动程序点火、熄火保护装置和采取通风及防火防爆措施，并严格执行燃气锅炉的操作规程。

北京市原来使用的燃气主要有华北油田的天然气，北京焦化厂的焦炉煤气，液化石油气等。1998 年开始增供陕甘宁的天然气。这些燃气的主要特性见表 1-6。