

现代燃气〔油〕锅炉

使用手册

XIANDAIRANQIYOUUGUOLU

SHIYONGSHOUCE

主编 杜永明

中国大地出版社

现代燃气(油)锅炉 使用手册

主 编:杜永明

中国大地出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

现代燃气(油)锅炉使用手册/杜永明编. —北京:中国大地出版社, 2003. 3

ISBN 7-80097-552-5

I. 现… II. 杜… III. ①燃气锅炉—技术手册②燃油锅炉—技术手册 IV. TK229—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 017344 号

责任编辑:刘建华

出版发行:中国大地出版社

社址邮编:北京市海淀区大柳树路 19 号 100081

电 话:(010)—62183493(发行部)

传 真:(010)—62183493

印 刷:铁道部第十六工程局印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:31.25

字 数:705 千字

版 次:2003 年 3 月第 1 版

印 次:2003 年 3 月第 1 次印刷

印 数:0001—1000 册

书 号:ISBN 7-80097-552-5/Z·130

定 价:248.00 元

(凡购买中国大地出版社的图书,如发现印装质量问题,本社发行部负责调换)

编 委 会

主 编:杜永明

编委会:李明奇 黄 新 郑振华

纪学东 周卫国 贺长利

前 言

现代燃油燃气锅炉采用微电脑技术,实现了全自动控制,燃料的完全燃烧程度高,再加上安全保护环节,使得劳动强度大大降低的同时,还进一步提高了锅炉的可靠性,从而实现了节能、降耗与环保的比较和谐的统一。

因此,随着我国燃料政策的调整,燃煤锅炉正在逐步被燃气燃油锅炉所代替,这一点在高新技术开发区和政府机关、高级宾馆饭店、医院以及新建商贸与高层民用生活区得到了明显的反映。有的地方政府,如北京、上海,不仅倡导绿色能源、绿色环保产品,而且早已付诸于使用实践,它们下发专门文件,明确规定市区什么范围必须使用燃油燃气锅炉,什么范围应该进行燃煤锅炉的燃油燃气改造。目前,北京市三环以内基本上消除了污染严重的燃煤锅炉,北京市冬季的空气质量因此得到很大改观。

在国家推广使用绿色环保产品的大政方针下,燃油燃气锅炉这一新生事物正在越来越多的城市生活和工业生产中得到推广和使用。加上国外燃油燃气锅炉与燃烧设备、自控设备大量进入国内,锅炉这个老产品正被注入新活力与新内容,不少曾经在锅炉岗位上工作多年的老师傅开始对这个“老伙伴”产生了陌生感。

产品在变,知识也要变。

因此,适时进行知识更新,就显得非常必要。

为此,我们针对常用燃油燃气锅炉使用中遇到的问题和疑虑,组织专业人员精心编写了这部使用手册。

本书通过燃烧材料的比较和燃烧工具的改进,说明燃煤锅炉存在许多与政策、技术发展不相适应的问题,然后通过介绍燃油燃气锅炉的先进性,告诉读者如何选用常见国产、进口燃油燃气锅炉。随后,对燃煤锅炉的改造进行了技术经济分析,进一步从投资、成本和效益的角度说明了燃油燃气锅炉使用的经济性。之后,对如何安装、试运行进行了简明扼要的阐述。接下来,重点对燃油燃气锅炉的主要系统及其性能、运行维护知识与技能进行了比较详细的说明,对燃油燃气锅炉工作人员开展科学合理的工作具有切实的指导与帮助作用。在此基础上,对燃油燃气锅炉常见事故进行总结和分析,并对如何科学妥善地进行处理提供了可资借鉴的措施与方法。最后,对这一新型锅炉使用中如何更好地减少环境污染进行了说明。

虽然本书涉及的面广、量大,不可能把所有的问题都展开来,但主要知识点都简明扼要地进行了介绍,可以作为锅炉选用、安装、调试、运行、维护与管理人员的工作参考书。

希望广大读者在阅读使用中不断提出改进意见,把我们共同的工作做好、做精!

本书编委会

2003年3月于北京

目 录

第一章 燃烧材料的比较	(1)
第一节 能源与环境	(1)
第二节 气体燃料和液体燃料	(4)
一、燃料的成分和燃烧特性	(4)
二、燃料的成分分析基础和换算	(5)
三、燃料的发热量	(6)
四、气体燃料	(7)
五、液体燃料	(12)
六、燃料的混燃	(22)
第二章 燃烧工具的改进与选型	(24)
第一节 燃油燃气锅炉的先进性	(24)
一、锅炉分类与应用分析	(24)
二、燃油燃气锅炉结构特点与种类	(28)
三、我国燃油燃气锅炉的现状	(37)
四、燃油燃气锅炉房的分布特点	(39)
第二节 燃油燃气锅炉的发展过程	(42)
一、锅壳式火管燃油燃气锅炉	(42)
二、水管燃油燃气锅炉	(57)
三、常压热水锅炉	(68)
四、特种燃油燃气锅炉	(69)
第三节 燃油燃气锅炉的选用	(138)
一、选用原则	(138)
二、注意事项	(139)
三、进口燃油燃气锅炉炉型及用户概况	(142)
第四节 国产进口燃油燃气锅炉简介	(152)
一、国产燃油燃气锅炉	(152)
二、进口燃油燃气锅炉	(156)
三、进口燃油燃气锅炉主要有下列三种类型	(157)

第三章 燃煤锅炉的改造	(165)
第一节 燃煤给大气带来的污染	(165)
一、中小型电站锅炉现状	(167)
二、工业锅炉和生活锅炉现状	(168)
三、工业窑炉的现状	(168)
四、锅炉烟尘的排放标准	(169)
第二节 燃煤锅炉改造的技术经济分析	(170)
一、燃煤锅炉改造的意义	(170)
二、燃煤锅炉改成燃油燃气锅炉的基本原则	(170)
三、燃煤锅炉改成燃油燃气锅炉的几个问题	(171)
四、燃油燃气锅炉燃烧器选用和布置	(174)
五、技术经济分析	(175)
第三节 锅炉项目概(估)算编制及参考实例	(176)
一、工程概(估)算文件组成	(176)
二、概(估)算编制说明	(177)
三、概(估)算表的编制	(182)
四、概算编制实例	(187)
附录:燃煤锅炉产品简表	(193)
第四章 燃油燃气锅炉的安装与试运行	(220)
第一节 锅炉房位置的选择与规模的确定	(220)
一、锅炉房位置的选择	(220)
二、锅炉房布置	(224)
三、锅炉房规模的确定	(229)
第二节 燃油燃气锅炉的安装	(231)
一、基础要求和验收	(231)
二、锅炉位置	(233)
三、锅炉房给气与换气	(233)
四、烟囱	(234)
五、燃料系统	(235)
六、汽、水管系的安装	(241)
七、电气线路的安装	(243)
第三节 燃油燃气锅炉的点火	(247)
一、点火前的检查与准备	(247)
二、点火程序	(252)
三、燃烧及燃烧系统的调校	(253)
四、锅炉的升压和升温	(256)

目 录

第四节 燃油燃气锅炉的试运行	(258)
一、水位控制的调整	(259)
二、汽压(或水温)的调校	(259)
三、三大安全附件的调校	(260)
四、保持安全附件灵敏可靠	(262)
五、水质处理要符合《低压锅炉水质》标准	(263)
第五节 热工试验	(263)
一、热工试验目的、方法和要求	(263)
二、热效率试验	(266)
三、测试方法与仪表的使用	(270)
第五章 燃油燃气锅炉的主要系统与性能	(282)
第一节 燃油燃气锅炉概述	(282)
一、燃油锅炉	(282)
二、燃气锅炉	(283)
第二节 燃料燃烧器	(286)
一、气体燃料燃烧器	(286)
二、油雾化器	(289)
三、调风器	(292)
四、燃烧器的布置	(295)
五、主要燃烧器简介	(296)
第三节 自动控制系统	(318)
一、分散控制系统	(318)
二、集散控制系统(DCS)	(335)
第四节 锅炉房辅助设备与附件	(342)
一、油罐和油箱	(342)
二、油泵	(343)
三、油过滤器	(345)
四、燃油加热器	(345)
五、常用燃气辅助设备	(347)
六、热力系统辅助设备	(354)
七、燃油燃气管道附件	(367)
第六章 燃油燃气锅炉的运行与维护	(379)
第一节 燃油燃气锅炉的运行	(379)
一、锅炉点火前的检查	(379)
二、锅炉点火启动	(380)
三、正常运行	(383)

四、燃油燃气锅炉停炉操作	(387)
五、司炉工的日常工作	(388)
第二节 有机热载体炉的运行	(389)
一、热载体炉点火前的准备工作	(389)
二、点火升温	(390)
三、正常运行	(392)
四、停炉	(393)
五、司炉人员的日常工作	(394)
第三节 工质的处理与判别	(395)
一、热水锅炉和蒸汽锅炉的水处理	(395)
二、载热体加热炉导热油	(408)
三、热风炉工质——热空气的加湿与净化	(410)
第四节 运行保养	(412)
一、停炉保养	(412)
二、日常维护与保养	(414)
附录一:燃油燃气蒸汽锅炉计算数据	(421)
附录二:燃油燃气热水锅炉计算数据	(429)
附录三:燃油燃气热油锅炉计算数据	(442)
第七章 燃油燃气锅炉常见事故分析与处理	(443)
第一节 事故分类、处理要求与原因分析	(443)
一、锅炉事故分类	(443)
二、事故处理要求	(444)
三、原因分析	(444)
第二节 事故处理与预防	(447)
一、爆炸事故	(447)
二、缺水事故	(448)
三、满水事故	(450)
四、汽水共腾	(451)
五、爆管事故	(452)
六、烟管管头泄漏事故	(453)
七、水击事故	(454)
八、炉膛爆炸事故	(455)
九、二次燃烧	(456)
十、锅炉房失火	(457)
十一、燃油燃气锅炉熄火	(457)
十二、常见一般损坏事故	(458)
第三节 燃油燃气锅炉房安全管理	(464)

目 录

一、锅炉安装、使用、检验、修理改造、移装和报废手续	(464)
二、锅炉房管理制度及日常记录	(465)
附录一:国家质量监督检验检疫总局颁布	
锅炉司炉人员考核管理规定	(467)
附录二:锅炉压力容器压力管道特种设备事故处理规定	(472)
第八章 燃油燃气锅炉的环境污染与控制	(477)
一、环境污染及其危害	(477)
二、环境污染的控制	(479)
三、环境质量标准	(482)

第一章 燃烧材料的比较

能源与环境目前已成为人类生存和社会发展所关注的焦点。我国能源生产和消费的主要特点是以煤为主。“八五”期间，一次能源生产的年平均增长率为4.37%。能源的消费结构是：原煤占75.3%，油占17.5%，天然气占1.9%，水电占5.3%。这种以煤为主的能源结构带来的问题是防治污染的费用日益增加；另外，对铁路运输也造成了压力。据预测，到2020年我国能源需求量将至少增加 8×10^8 t标准煤。

第一节 能源与环境

随着经济和科学技术的发展，特别是人类对生活质量和生存环境要求的日益提高，油、天然气作为优质、洁净的燃料和原料，越来越引起人们的重视。特别是天然气，相对于油的开发利用相对滞后，因此加快天然气工业的发展，已成为当今世界的趋势。

我国有丰富的石油和天然气资源，也有悠久的开采石油和天然气的历史。

天然气是一种埋藏于地下的可燃性气体，绝大多数是由气体化合物与气体元素组成的混合物，在特殊情况下，也会由单一气体组成。天然气的主要成分为烃类气体，其中85%~95%为甲烷(CH_4)，比重轻于空气，极易挥发，并在空气中迅速扩散。天然气与空气混合浓度在5%~15%时遇明火或大于天然气燃点 530°C 时即燃烧，属可燃可爆性气体。在 -162°C 常压下可液化，称液化天然气(LNG)，液化后体积缩小到1/600。天然气属于清洁燃料，几乎不含硫、粉尘和其他有害物质，燃烧时产生二氧化碳少于其他化石燃料，造成温室效应较低。如果天然气的效应系数为1，则石油为1.85，煤为2.08。

地球上已探明的天然气地质储量超过140万亿 m^3 ，年开采2万多亿 m^3 ，可采68年。而天然气的勘探、开采和利用还有许多工作可做。据专家估计，我国生产部门采用的天然气可采资源，气层气为 $10.5 \times 10^{12}\text{m}^3$ ，油田伴生气为 $1.05 \times 10^{12}\text{m}^3$ ，合计为 $11.55 \times 10^{12}\text{m}^3$ 。除了气层气和油田伴生气外，其它天然产出的碳氢化合物气体可称为非常规天然气资源，目前人们已认识或正在进行研究的非常规天然气有煤层气、水溶气和天然气水合物等，因此我国的非常规天然气有巨大的资源潜力。专家们证实，占天然气主要成分的甲烷不仅可以有机生成，也可以无机合成。早在地球形成之初，甲烷就已经存在于地壳之中，天文学家也发现一些星球可能是被甲烷大气层包围着，这一理论大大拓展

了天然气资源的勘探领域。此外,海洋学家发现在大洋深处的海底由于海水的压力作用,可能存在着大量的液态甲烷,其数量之大将可支撑人类数十年的文明。

煤层气是近一二十年在世界上崛起的新型能源,是一种以吸附状态与煤共生的储存在煤中的非常规天然气,其成分和常规天然气基本相同,完全可以和常规天然气混输、混用。我国的煤层气资源丰富,煤层气的生成、储存状态不同于常规天然气。煤层气来自煤层,有三种储存状态:一是以吸附状态吸附于煤体表面;二是以游离状态存在于煤层岩的孔隙、裂隙中;三是以溶解状态存在于矿藏水中。初步预测我国陆地上埋在2000m以内的煤层气资源量就达 $30 \sim 35 \times 10^{12} \text{m}^3$,超过陆地上常规天然气的资源总量,是一项潜在的不可忽视的资源。可惜开发和利用的程度近乎于零。我国今后几年将加大对煤层气的开发利用能力。

水溶气是指地层水(包括岩浆水)中溶解的烃类气体。在油气生成运聚的过程中,天然气与地层水相互作用溶于水,在高压条件下溶解量更大,可以形成有开采价值的水溶气藏,因而形成了具有相当潜力的一种非常规天然气资源。日本每年从地层水中开采约 $3 \times 10^8 \text{m}^3$ 的天然气。前苏联学者曾估算前苏联含油气盆地中总水溶气量超过 $400 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。我国对水溶气资源的调查研究仅有一些零星成果。根据有关专家评述,预测我国水溶气资源量可能在 $45 \times 10^{12} \text{m}^3$,资源潜力是非常巨大的,值得我们重视。

天然气水合物是在特定条件下形成的冰状固体甲烷,是一种水结晶的笼形结构络合物,也称甲烷水合物。其形成条件是低温、高压及甲烷气达到饱和浓度。因此甲烷只能形成于地表温度低的靠近地球两极高纬度区及深海。有人估算天然气水合物的资源总量是常规化石燃料总资源的284倍,是十分重要的潜在能源资源。

煤、油、气都属于化石燃料,使用过程中会产生严重的大气污染,而且对森林、农作物和水土造成严重危害,并导致 CO_2 排放量的迅速增加。煤炭燃烧是释放 CO_2 最多的化石燃料,它要比石油和天然气多排放29%和80%的 CO_2 ,世界每年的 CO_2 总排放量中,有43%来自燃煤。天然气与煤炭、石油等黑色能源相比,燃烧过程中所产生的影响人类呼吸系统健康的氮化物、一氧化碳以及可吸入悬浮微粒极少,几乎不产生导致酸雨的二氧化硫,燃烧之后也没有废渣、废水。天然气具有转换效率高,环境代价低,投资省和建设周期短等优势,积极开发利用天然气资源已成为全世界能源工业的发展潮流。

通过采用燃用清洁燃料替代燃煤,很多大中型城市的以煤烟型的 SO_x 和烟尘污染为主的大气污染状况得到缓解,但 NO_x 氮氧化物的污染仍有增加的趋势。因为以油、天然气替代煤,可以显著地降低 SO_x 和烟尘污染程度,而 NO_x 氮氧化物降低的幅度不很显著。根据专家计算,燃料每释放 $4.167 \times 10^9 \text{J}$ 的热量,煤、油、天然气的 SO_x ,烟尘和 NO_x 的排放量如表1-1-1所示。

第一章 燃烧材料的比较

表 1-1-1 燃料每释放 $4.167 \times 10^9 \text{J}$ 的热量烟气的气体烟尘排放量

燃料	SO_x (kg)	NO_x (kg)	烟尘 (kg)
煤炭	1 190 ~ 7 900	1 200 ~ 4 400	110 ~ 17 000
石油	1 500 ~ 1 600	230 ~ 1 370	250 ~ 1 300
天然气	1.1	140 ~ 1 260	9 ~ 27

除化石燃料外,可再生能源在能源消费总量中的比例在我国也是比较低的,可再生能源主要是指太阳能、风能、生物质能、地热能和水能等能源,它们具有资源丰富、无环境污染、清洁安全、可再生等优点。可再生能源的开发利用,有助于减少化石能源的消耗量和由此引起的污染。

因此,我国今后的能源消费政策应该归结为下面三个层次的发展方向:

- (1) 提高化石燃料的能源利用率;
- (2) 提高化石燃料中油、气能源的利用比例;
- (3) 进一步开发和利用可再生能源。

我国要赶上中等发达国家的经济发展水平,能源结构首先要相应地达到较高水平,按照能源需求测算出 2050 年我国的一次能源消费结构应该为:煤炭 30% ~ 35%,天然气、石油占 40% ~ 50%,一次电力 15% ~ 20%。如果没有特殊要求的话,煤炭基本上将退出终端消费。按这种水平进行推算,2005 年近期的一次能源消费结构应该为:煤炭 67%,天然气、石油占 26%,一次电力 7%。

发达国家的天然气约有 90% 用于工业、民用和发电,而用于化工原料的约有 10% 左右。国外大多数国家天然气的使用首先是满足民用需要。日本是一个矿物资源较少,商品能源需要进口的国家。因此,日本一方面调整能源消费结构,另一方面注意节约和合理使用,居民人均和户均的生活用能在发达国家中是比较低的。日本 1989 年每户的家庭用能是 1.43tce (指能源消费量单位,即标准煤),如不包括采暖,约为 1.0tce。2000 年的每户家庭用能为 1.65tce,家庭用能的 1/3 用于加热热水,1/3 用于采暖和制冷,16% 用于家用电器,17% 用于炊事。使用的能源主要是石油制品、电力和气体燃料,占总用能的 96.8%,煤炭的使用量只占 0.2%。

美国家庭在 1978 年时每户的家庭用能近 5tce,由于石油危机后能源价格的上涨,每户平均用能量逐年减少,1984 年下降到平均每户 3.25tce。美国家庭的用能量,约有 2/3 用于采暖和空调,热水占 18%,家用电器和炊事用能占 21%。家庭消费的能源 50% 是天然气,1/3 是电能,石油制品直接燃烧用能占 10%。

由于环境保护和国家能源结构优化的强烈要求以及人们对洁净能源的追求,中国天然气的需求将会迅速增长。国家实施西部大开发政策后,天然气生产速度增加较快。一些专家对未来天然气主要消费领域的预测结果显示,虽然对未来主要消费领域的预测有所不同,但总趋势是用于发电的比重增加,而用于化工原料的比重减少,民用或城市燃气的比重比 1996 年大幅度提高。

相对煤炭资源来讲,我国石油资源并不丰富。同时,我国石油资源中有 43.5% 属于稠油和低渗透资源,质量差,开采难度大。因此,在中国的能源消费结构中,石油比

例不可能超过煤炭。也就是说,石油代替不了煤炭在中国能源结构中的主导地位。更重要的是,石油是最重要的战略物资,关系到国家的安全。为此,我们更应珍惜石油资源,提高石油资源利用效率。

据 1997 年统计,世界石油产量 $32.47 \times 10^8 \text{t}$, 是当年剩余可采储量的 2.3%; 中国产量为 $1.6 \times 10^8 \text{t}$, 居世界第五位, 占当年中国剩余可采储量的 4.9%, 显然开采强度高于世界平均水平的一倍。由于这些年来, 我国勘探找到的可采储量不能弥补当年生产消耗的储量, 处于入不敷出的状态, 所以石油储采比不断下降, 1997 年已降为 12。从陆上石油工业 10 年来的发展分析, 1988 ~ 1997 年, 虽然石油可采储量由 $35.74 \times 10^8 \text{t}$, 增加到 $46.13 \times 10^8 \text{t}$, 净增 $10.39 \times 10^8 \text{t}$, 年均增加 $1.15 \times 10^8 \text{t}$ 。但是, 9 年间, 累计产油 $12.47 \times 10^8 \text{t}$, 年均采出 $1.39 \times 10^8 \text{t}$, 平均每年相差 $2400 \times 10^8 \text{t}$, 致使储采比下降。据国外资料, 一些国家的产量稳定时的储采比临界值是 13.5。我国目前储采比已小于稳产临界值。如果今后勘探上无重大发现, 开发上可采储量亦无大的提高, 中国石油产量不但不能增长, 有可能比人们预计的要提前开始下降。另外, 我国石油探明程度还不高, 仍有较大发展前景。至 1997 年世界石油可采储量探明率已达 85%, 我国剩余可采储量为 $33 \times 10^8 \text{t}$, 待发现储量 $85.1 \times 10^8 \text{t}$, 探明程度仅为 39.2%。因此, 中国石油比世界平均探明程度要低得多, 石油勘探潜力还是比较大的, 但总资源是相对贫乏的。

中国天然气资源勘探程度低, 目前正处于储量增长高峰期, 发展潜力大, 前景十分看好。随着天然气的利用越来越广泛, 当前要重点研究燃气电站设备制造技术, 天然气的转化技术, 天然气汽车技术及天然气的工业燃烧和热能利用技术, 提高利用技术的品质, 越是洁净的能源越要强调节能。

从世界能源发展趋势看, 至少在 21 世纪前半叶, 化石能源, 特别是石油和天然气仍将是世界消费的主要能源。

第二节 气体燃料和液体燃料

燃料通常是指能与氧发生激烈氧化反应、放出大量热量的一种物质, 它是由多种可燃与不可燃物质组成的混合物。不同燃料, 其组成成分差别很大, 具有不同的燃烧特点, 在锅炉上使用时需采用不同的燃烧方法。锅炉上燃用的气体燃料种类较多, 而燃用的液体燃料主要是重油和渣油。

一、燃料的成分和燃烧特性

气体燃料和液体燃料都属有机燃料, 即都是复杂的高分子烃类物质。燃料的主要化学成分有: 碳 (C)、氢 (H)、氧 (O)、氮 (N)、硫 (S)、灰分 (A) 及水分 (M)。

碳是燃料中主要的可燃成分, 一般占燃料成分的 15% ~ 90%。碳完全燃烧时生成 CO_2 , 1kg 纯碳可放出 32866kJ 热量; 碳在不完全燃烧时生成 CO, 此时 1kg 纯碳放出的热

量仅为 9270kJ。

氢也是燃料中的可燃成分，液体燃料中的氢元素含量一般可达 15%，气体燃料中的氢含量较多，尤其是天然气。燃料中氢元素的发热量最高，1kg 氢燃烧后的低位发热量为 120370kJ，约为碳发热量的 4 倍。

硫燃烧后生成 SO_2 及少量的 SO_3 ； SO_3 使烟气中的水蒸气露点大大升高，烟气中的 SO_2 及 SO_3 能溶解于水变成 H_2SO_3 （亚硫酸）及 H_2SO_4 （硫酸），会使锅炉低温受热面（如空气预热器）金属腐蚀及堵灰。锅炉排放的烟气中，硫化物将污染环境，对人体及农作物皆有害。

氧和氮都是不可燃成分，氧和燃料中的部分氢、碳组成 H_2O 、 CO_2 ，使燃料中的碳、氢可燃成分相对减少，氮是惰性物质，因此氧、氮元素的存在会使燃料发热量有所下降。氮和氧在高温下形成氮氧化合物 NO_x （ NO 及 NO_2 ），这对生态环境极为有害。目前国内外都在研究能降低排烟中 NO_x 含量的燃烧器及燃烧设备，有的已取得了较好的效果，在设计燃烧设备时应充分重视 NO_x 的排放指标。

灰分是燃料中不可燃的杂质，它不仅使燃料发热量降低，而且使受热面易受污染而影响传热，降低效率。气体燃料及液体燃料基本上不含灰分。

水分也是不可燃成分，燃料燃烧时，水分吸热汽化，使燃烧室温度降低，同时还在低温受热面处溶入 SO_2 和 SO_3 后造成低温腐蚀。一般液体燃料含水分约 1%~3%，气体燃料所含水分不高，一般等于该温度下的饱和水分。

二、燃料的成分分析基础和换算

1. 气体燃料

气体燃料是由若干可燃气体（如 CO 、 H_2 、 CH_4 、 C_2H_2 和 H_2S 等）、不可燃气体（如 CO_2 、 N_2 、 O_2 等）以及水蒸气组成的混合气体。

气体燃料的组成常表示为各气体成分的体积百分数。由于气体燃料中所含水蒸气量会随外界条件（压力、温度等）变化而变化，这对研究燃料特性很不方便。为此对气体燃料采用不计入水蒸气的所谓干气体组成，与计入水蒸气的所谓湿（全）气体组成两种表示方法，分别用下角标 g、s 表示干气体燃料组成及湿气体燃料组成，则有

$$\text{CO}_g\% + \text{H}_{2,g}\% + \text{CH}_{4,g}\% + \cdots + \text{CO}_{2,g}\% + \text{O}_{2,g}\% + \text{N}_{2,g}\% = 100\%$$

$$\text{CO}_s\% + \text{H}_{2,s}\% + \text{CH}_{4,s}\% + \cdots + \text{CO}_{2,s}\% + \text{O}_{2,s}\% + \text{N}_{2,s}\% + \text{H}_2\text{O}_s\% = 100\%$$

上面两式中各项分别为干气体燃料及湿气体燃料中各成分的体积百分数。

在进行燃烧计算时，要求以实际进入燃烧装置的气体燃料成分进行计算，为此在已知干气体燃料成分时还需换算为湿气体燃料成分，对任一成分 X，其干成分 X_g 与湿成分 X_s 间有以下关系

$$X_s = X_g \frac{100 - \text{H}_2\text{O}_s}{100}$$

气体燃料所含水蒸气量不高，一般等于该温度下的饱和水蒸气量。设在不同温度下

1m³① 干气体所能吸收的水蒸气量为 G_{H_2O} (g/m³)，则根据下式即可求出湿气体燃料中水蒸气所占体积百分数

$$H_2O_s \% = \frac{0.00124 G_{H_2O}}{1 + 0.00124 G_{H_2O}}$$

式中 0.00124——标准状态下 1g 水蒸气的体积。

2. 液体燃料

液体燃料的组成通常用质量百分数表示，锅炉上使用的液体燃料主要是重油和渣油。

实际使用的油的成分称收到基成分，用符号表示油中各成分的质量百分数，则有

$$C_{ar} + H_{ar} + O_{ar} + N_{ar} + S_{ar} + A_{ar} + M_{ar} = 100$$

石油从地下开采出来时，一般含水分较高，交付运输前要经过脱水处理，规定含水量应小于 2%。在贮存、装卸和运输过程中，水分有可能增加，在石油炼制过程中，水分又会有变化。所以，油中的水分是不稳定的。为了消除水分不稳定的影响，把水分除去，剩下的就构成油的干燥基成分，用符号表示时可得

$$C_d + H_d + O_d + N_d + S_d + A_d = 100$$

油中的灰分很少，把灰分和水分都去掉，就得到油的干燥无灰基成分，即

$$C_{daf} + H_{daf} + O_{daf} + N_{daf} + S_{daf} = 100$$

上述三种不同成分基础间可以相互换算，换算系数如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 不同成分基础间的换算系数

已知成分	脚 标	所 求 成 分		
		收到基	干燥基	干燥无灰基
收到基	ar	1	$\frac{100}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - M_{ar} - A_{ar}}$
干燥基	d	$\frac{100 - M_{ar}}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A_d}$
干燥无灰基	daf	$\frac{100 - M_{ar} - A_{ar}}{100}$	$\frac{100 - A_d}{100}$	1

三、燃料的发热量

燃料发热量有高位发热量和低位发热量。液体燃料发热量的单位为 kJ/kg，气体燃料发热量的单位为 kJ/m³。当烟气中的水蒸气完全凝结，将水蒸气的凝结潜热释放出来，这时的发热量称高位发热量，用符号 $Q_{gr,v}$ 表示；如果水蒸气没有凝结，则称低位发热量，用符号 $Q_{net,v}$ 表示。实际上，烟气离开锅炉时的温度还相当高，水蒸气基本上没有凝结，所以锅炉中实际上可以利用的是低位发热量。

① 本章在分析气体燃料的组成、气体燃料的发热量、计算燃烧所需的空气量及燃烧产物的体积时，均为标准状态（压力为 1.01325×10^5 Pa，温度为 273K）。

1. 气体燃料的发热量

气体燃料的发热量可用气体燃料量热计（容克斯量热计）测定或通过计算求出。气体燃料是由若干可燃与不可燃气体混合而成的，可燃干气体低位发热量已由实验精确测定，因此，如已知干气体体积成分，即可按混合气体的关系计算干气体低位发热量。

$$Q_{\text{net}, V, g} = \sum x_{i, g} Q_{\text{net}, V, i, g}$$

式中 $x_{i, g}$ ——干气体燃料中各组成成分的体积百分数，%；

$Q_{\text{net}, V, i, g}$ ——干气体燃料中各组成成分的低位发热量， kJ/m^3 。

湿气体燃料的低位发热量可按下式计算

$$Q_{\text{net}, V, s} = \frac{Q_{\text{net}, V, g}}{1 + 0.00124 G_{\text{H}_2\text{O}}}$$

2. 液体燃料的发热量

液体燃料的发热量通常使用氧弹量热计测定。燃料油的不同成分基础下的高位发热量与低位发热量间的换算关系如下

$$Q_{\text{ar}, \text{net}, V} = Q_{\text{ar}, \text{gr}, V} - 25 (9H_{\text{ar}} + M_{\text{ar}})$$

$$Q_{\text{d}, \text{net}, V} = Q_{\text{d}, \text{gr}, V} - 226H_{\text{d}}$$

$$Q_{\text{daf}, \text{net}, V} = Q_{\text{daf}, \text{gr}, V} - 226H_{\text{daf}}$$

实际上使用的油的发热量是收到基低位发热量 $Q_{\text{ar}, \text{net}, V}$ ，当油中的水分、灰分变化时， $Q_{\text{ar}, \text{net}, V}$ 也发生变化，而干燥无灰基低位发热量 $Q_{\text{daf}, \text{net}, V}$ 则不随水分、灰分而变，它完全取决于油的干燥无灰基成分，两者有如下关系

$$Q_{\text{ar}, \text{net}, V} = Q_{\text{daf}, \text{net}, V} \frac{100 - A_{\text{ar}} - M_{\text{ar}}}{100} - 25M_{\text{ar}}$$

油的收到基低位发热量由于水分变化而发生的变化，可按下式计算

$$Q_{\text{ar}, \text{net}, V, 2} = (Q_{\text{ar}, \text{net}, V, 1} + 25M_{\text{ar}, 1}) \frac{100 - M_{\text{ar}, 2}}{100 - M_{\text{ar}, 1}} - 25M_{\text{ar}}^2$$

式中的下角 1 和 2 表示两种水分不同的油。

油的发热量应以实测值为准，也可以按元素成分近似估算。

$$Q_{\text{daf}, \text{net}, V} = 339C_{\text{daf}} + 1030H_{\text{daf}} - 109 (O_{\text{daf}} - S_{\text{daf}})$$

实测值和按上式计算值间的误差应不大于 $600\text{kJ}/\text{kg}$ 。

油的密度越大，相对含氢量越少，发热量也越低。所以，如果水分相同，一般汽油的发热量要高一些，而重油的发热量则要低一些。

四、气体燃料

气体燃料按来源可分为天然气及人工煤气两类。人工煤气的种类很多，按获得的方法和工艺不同而异，通常有液化石油气、炼焦炉煤气、高炉煤气和发生炉煤气等。按发热量可分为低热值煤气 ($Q_{\text{net}, V, s} \leq 6000 \sim 10000\text{kJ}/\text{m}^3$)，如高炉煤气、发生炉煤气等；高热值煤气 ($Q_{\text{net}, V, s} > 16000\text{kJ}/\text{m}^3$)，如天然气等；介于低热值和高热值之间的煤气称为中