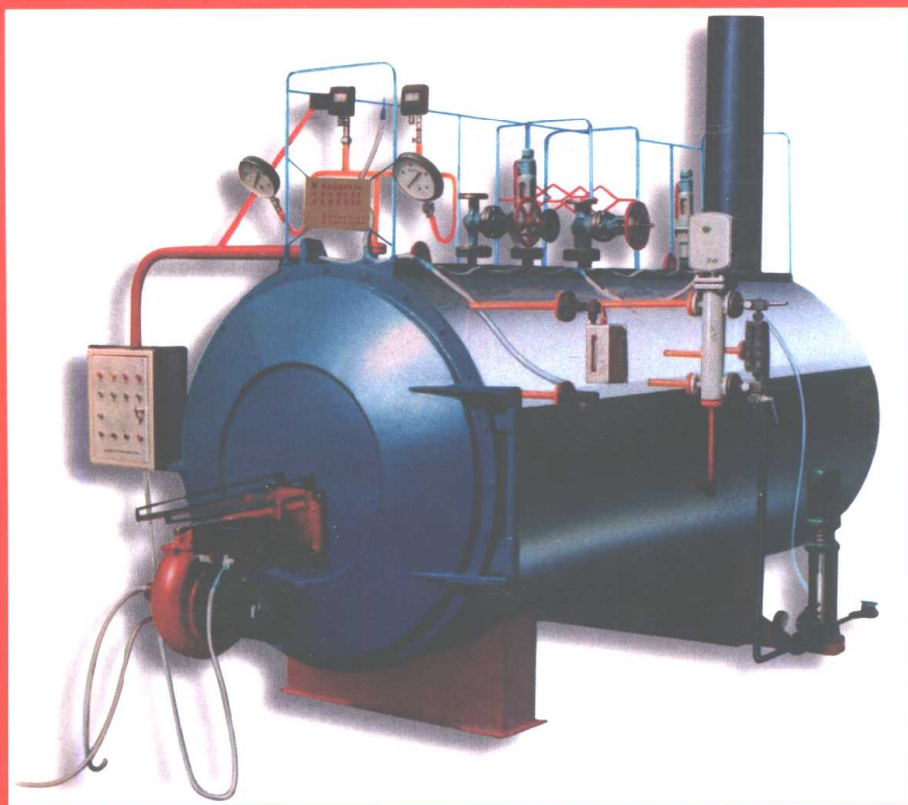


燃油 燃气锅炉

赵钦新 惠世恩 主编



西安交通大学出版社

燃油燃气锅炉

赵钦新 惠世恩 主编
庄正宁 车得福 王妍芃 张晓鹏

西安交通大学出版社
·西安·

内 容 提 要

本书详细阐述了燃油燃气锅炉的基本理论、设计原理及计算方法、制造工艺和运行控制等,并介绍了有关的新技术、新产品、新工艺。全书内容密切联系生产实际和技术发展动向。可供热能动力工程专业的师生作为教材使用,并供有关专业的科技人员参考。

NA 180/07

图书在版编目(CIP)数据

燃油燃气锅炉/赵钦新,惠世恩主编.-西安:西安
交通大学出版社,2000.6
ISBN 7-5605-1173-2

I. 燃… II. ①赵…②惠… III. ①燃油锅炉②燃
气锅炉 IV. TK229

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 60706 号

*

西安交通大学出版社出版发行
(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668316)
西安交通大学印刷厂印装
各地新华书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:45.125 插页:1 字数:1105 千字
2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月第 1 次印刷
印数:0 001~4 000 定价:60.00 元

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售
部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话:(029)2668357,2667874

写在本书前面的话

(代 序)

我长期生活、学习、工作在西安交通大学锅炉教研室(现已发展为热能工程系)。我熟悉这里的一切,更了解在这里严谨治学和努力攀登的一代又一代交大人。在这里的办公室、实验室里,制订了中国高校最早的锅炉专业本科生、硕士生和博士生的培养计划,编著了一系列不同发展时期锅炉专业的全国通用教材和教学参考书,更培养了一大批专家、教授、高级工程师及厂长、经理,创造了多项重要科研成果。靠的是什么?是知识和勤奋无私奉献的西安交大精神。知识是海洋,无边无际,深奥莫测,既催人求索,更给人力量,哺育着每一个人的成长,激励着人们奋发创新。本书是热能工程系的一些教师把他们多年对燃油燃气锅炉的研究、理解及丰富充实了的新知识汇集起来,奉献给读者。其特点在于它整体性强,理论与实践的紧密结合,对读者的工作有指导和启示作用。更可喜的是,本书作者们的平均年龄不到40岁,几乎全部是博士和硕士学历,可见一代跨世纪的教师梯队多么强劲有力地 在西安交通大学这块土地上成长。

我特别高兴地向读者推荐本书,更衷心地希望读者们从这本书中学到的不仅仅是有关燃油燃气锅炉设计、制造、运行及控制的完整知识,并能够在这上百万字的图表、数据和字里行间学到一个知识分子对祖国对人民对事业的责任感,追求知识的紧迫感和面向新世纪开创未来的创新意识和精神。

请不要忘记,我们从社会汲取了知识营养,同样我们应该用自己的知识和才干回报社会。

徐通模

1999.9

50周年国庆前夕于西安交通大学能源馆

前 言

随着改革开放的不断深化和全球环保意识的提高,近年来燃油燃气锅炉在国内得到广泛的使用,国外燃油燃气锅炉也大量涌入国内市场,同时国产燃油燃气锅炉也在迅速发展。由于国内过去动力燃料的政策是以煤为主,迄今为止尚无一本详细阐述燃油燃气锅炉基本理论、设计原理及方法、制造工艺、运行控制等方面的工具书。本书的问世将给从事热能动力工程专业的科技工作者、工程技术人员、锅炉制造厂和燃油燃气锅炉用户提供一本内容齐全、易懂实用的参考书。

本书在编写过程中参阅了国内外大量有关燃油燃气锅炉设计、制造、运行等方面的资料和数据,同时汇集了西安交通大学热能工程系诸多老师多年的教学、科研成果。全书力图论理清楚,简明实用。本书内容充实,计算公式和图表齐全,便于查阅。全书共分 11 章,内容包括油、气燃料的物理化学性质,油、气燃料的燃烧过程,油、气燃烧器设计,油、气锅炉的结构布置和设计计算方法,制造工艺,计算机辅助设计,煤炉改烧油、气的设计,油、气锅炉运行控制及锅炉房设计,并附有详细的计算示例。

本书由西安交通大学热能工程系庄正宁副教授(编写第 1,2,11 章),车得福博士、教授(编写第 3 章),惠世恩教授(编写第 4 章),赵钦新博士、副教授(编写第 5,6,7 章),王妍凡博士、副教授(编写第 8,10 章),张晓鹏工程师(编写第 9 章)共同编写。全书由赵钦新副教授、惠世恩教授主编。

中国工程院院士林宗虎教授对本书进行了全面的审阅,并提出了许多宝贵意见,使本书增色不少。

西安交通大学校长、国家级有突出贡献的专家徐通模教授为本书作了序。

本书在编写过程中得到了西安交通大学热能工程系诸多教授、专家的支持和帮助,在此表示真诚的感谢。出版社编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

1999 年 1 月

作者于西安

目 录

第1章 油气燃料概述

1.1 能源与燃料	(1)
1.1.1 能源	(1)
1.1.2 燃料的生成、分类和化学组成	(2)
1.1.3 燃油燃气锅炉的发展	(8)
1.2 油质燃料	(9)
1.2.1 油质燃料的分类与特点	(9)
1.2.2 锅炉常用燃料油	(13)
1.3 气体燃料	(21)
1.3.1 气体燃料的分类与特点	(21)
1.3.2 锅炉常用燃料气	(24)

第2章 油气燃料的物理化学性能

2.1 油质燃料的物理化学性能	(27)
2.1.1 相对密度和热膨胀性	(27)
2.1.2 流动性能	(28)
2.1.3 传热性能	(30)
2.1.4 着火及爆炸性能	(31)
2.1.5 热值	(33)
2.1.6 其它理化性能	(35)
2.2 气体燃料的物理化学性能	(35)
2.2.1 基本热物理性质	(36)
2.2.2 临界参数及状态方程	(42)
2.2.3 粘度	(45)
2.2.4 含湿量	(47)
2.2.5 爆炸极限	(48)
2.2.6 热值	(50)
2.2.7 液化石油气	(52)

第3章 油气燃料的燃烧

3.1 燃烧及其基本原理	(60)
3.1.1 燃烧的基本条件	(60)
3.1.2 燃烧反应机理	(60)

3.1.3	射流混合	(63)
3.1.4	着火和点火	(80)
3.1.5	火焰的传播	(89)
3.2	燃烧计算	(96)
3.2.1	理论空气量、实际空气量和过量空气系数	(97)
3.2.2	燃烧产物及其计算	(99)
3.2.3	燃烧温度和烟气焓的计算	(103)
3.2.4	不完全燃烧方程和运行过量空气系数的确定	(107)
3.3	油的燃烧	(114)
3.3.1	油的燃烧过程及特点	(114)
3.3.2	油的雾化	(118)
3.3.3	油的配风	(125)
3.3.4	乳化燃烧	(126)
3.4	气体燃料的燃烧	(129)
3.4.1	气体燃料的燃烧特点及其分类	(129)
3.4.2	扩散式燃烧	(130)
3.4.3	部分预混式燃烧	(133)
3.4.4	完全预混式燃烧	(138)
3.4.5	燃烧的强化及污染控制	(140)

第4章 油气燃烧器

4.1	油燃烧器及其分类	(143)
4.2	油喷嘴	(145)
4.2.1	机械雾化油喷嘴	(145)
4.2.2	气流雾化油喷嘴	(164)
4.3	配风器	(200)
4.3.1	配风器的设计原则	(200)
4.3.2	配风器的原理及类型	(200)
4.4	燃气燃烧器	(214)
4.4.1	燃气燃烧器的分类	(214)
4.4.2	燃气燃烧器的技术要求及喷孔计算	(215)
4.4.3	扩散式燃烧器	(220)
4.4.4	大气式燃烧器	(249)
4.4.5	完全预混式燃烧器	(265)
4.5	国外燃油燃气燃烧器概况	(286)
4.5.1	德国威索燃烧器	(286)
4.5.2	意大利百得燃烧器	(290)
4.5.3	意大利埃夫比尔燃烧器	(298)

第5章 燃油燃气锅炉的结构和设计

5.1 概述	(303)
5.2 锅炉的参数、型号和技术指标	(304)
5.2.1 锅炉参数	(304)
5.2.2 锅炉型号	(306)
5.2.3 锅炉的技术指标	(308)
5.3 燃油燃气锅炉的结构	(308)
5.3.1 锅炉发展简介	(308)
5.3.2 锅壳式(火管式)燃油燃气锅炉	(312)
5.3.3 水管燃油燃气锅炉	(317)
5.4 锅炉的热平衡计算	(324)
5.4.1 锅炉输入热量 Q_r	(326)
5.4.2 排烟热损失 q_2	(327)
5.4.3 气体不完全燃烧热损失 q_3	(328)
5.4.4 机械不完全燃烧热损失 q_4	(328)
5.4.5 散热损失 q_5	(328)
5.4.6 锅炉有效利用热 Q_1	(330)
5.4.7 锅炉的热效率和燃料消耗量	(331)
5.4.8 锅炉的热效率和燃料消耗量计算举例	(331)
5.5 炉膛(胆)的传热过程和计算	(334)
5.5.1 炉膛传热的基本方程	(334)
5.5.2 有效辐射受热面	(335)
5.5.3 火焰黑度	(336)
5.5.4 炉膛有效放热量与理论燃烧温度	(338)
5.5.5 炉膛黑度	(339)
5.5.6 炉内温度场与火焰平均温度	(339)
5.5.7 炉膛传热计算和炉膛出口烟气温度	(341)
5.5.8 炉膛传热计算的步骤	(342)
5.5.9 水管锅炉的炉膛结构设计	(343)
5.5.10 锅壳式燃油燃气锅炉的炉胆结构和传热计算	(344)
5.6 对流受热面的传热计算	(352)
5.6.1 传热系数 K 的计算	(352)
5.6.2 对流换热系数	(355)
5.6.3 对流传热温压	(366)
5.6.4 对流受热面的结构设计	(367)
5.6.5 对流受热面传热计算步骤	(371)
5.6.6 锅壳式燃油燃气锅炉对流受热面计算举例	(373)
5.7 锅炉烟风阻力计算	(379)

5.7.1	烟风系统流动阻力计算	(379)
5.7.2	动压头的确定	(380)
5.7.3	各类阻力系数 ζ 值的确定	(381)
5.7.4	烟道的自生通风能力计算	(389)
5.7.5	烟道总压降计算要点	(389)
5.7.6	空气流程总阻力	(391)
5.7.7	送、引风机选择	(393)
5.8	锅炉受压元件强度计算	(394)
5.8.1	强度计算基本参数的确定	(394)
5.8.2	承受内压圆筒形元件的强度计算	(398)
5.8.3	承受内压凸形封头的强度计算	(405)
5.8.4	承受外压圆筒形元件的强度计算	(407)
5.8.5	有拉撑(加固)的平板和管板强度计算	(411)
5.8.6	承受内压的平端盖、平堵头及盖板的强度计算	(413)
5.8.7	孔的加强计算	(416)
5.8.8	铸铁锅炉的强度设计	(421)
5.8.9	锅壳式锅炉炉胆的强度计算举例	(422)
5.9	锅炉的防爆设计	(426)

第6章 燃油燃气锅炉的计算机辅助设计

6.1	概述	(431)
6.2	燃油燃气锅炉的计算机辅助设计计算机软件包	(432)
6.2.1	锅壳式燃油燃气锅炉的一体化程序设计计算	(433)
6.2.2	锅炉受压元件强度计算机辅助计算	(437)
6.2.3	锅炉设备空气动力计算机辅助计算	(441)
6.2.4	锅炉水动力计算机辅助计算	(446)
6.3	燃油燃气锅炉的计算机软件菜单的功能及实现	(451)
6.3.1	主菜单下的功能设置	(452)
6.3.2	强度计算菜单的层次结构	(454)
6.4	锅炉计算机辅助设计 CAD	(455)
6.4.1	CAD 图形系统概述	(456)
6.4.2	通用图形软件的功能	(456)
6.4.3	通用图形系统软件的二次开发	(456)
6.4.4	图形支撑软件	(458)
6.4.5	绘图系统的建立	(464)
6.5	燃油燃气锅炉的计算机辅助设计绘图特点	(466)

第7章 燃油燃气锅炉制造工艺

7.1	概述	(471)
-----	----	-------

7.2	波形炉胆成型及其制造工艺	(471)
7.2.1	凹凸模压力机热压成型	(472)
7.2.2	专用机床上采用局部加热滚压成型	(476)
7.2.3	四辊卷板机滚压成型	(478)
7.2.4	炉胆制造过程中的焊接结构要求	(481)
7.3	螺纹烟管成型及其制造工艺	(482)
7.3.1	螺纹烟管成型机	(482)
7.3.2	螺纹烟管成型原理	(485)
7.3.3	螺纹管制造和验收	(486)
7.4	锅炉受压部件焊接方法	(486)
7.4.1	手工电弧焊	(486)
7.4.2	埋弧自动焊接	(490)
7.4.3	气体保护电弧焊接	(494)
7.5	锅筒的制造工艺	(502)
7.5.1	锅筒筒节的制造工艺	(503)
7.5.2	封头管板的制造工艺	(506)
7.5.3	锅筒的装配和焊接	(512)
7.5.4	管件和锅筒、封头、管板的连接	(517)
7.5.5	锅筒制造中的检验	(523)
7.5.6	锅筒焊接工艺要求和焊后热处理	(527)
7.6	管件的制造工艺	(528)
7.6.1	管件的划线与下料	(528)
7.6.2	管子的弯曲	(529)
7.6.3	管子的拼接工作	(531)
7.6.4	蛇形管制造工艺	(531)
7.6.5	膜式水冷壁管排制造工艺特点	(532)
7.6.6	管件制造中的质量检验	(533)

第8章 燃煤锅炉的燃气改造

8.1	燃煤锅炉改燃气的总理论原则	(537)
8.1.1	燃煤的特点	(537)
8.1.2	影响火焰辐射特性的因素	(541)
8.1.3	燃油、燃气的特点	(542)
8.1.4	燃油、燃气和燃煤的主要差异及改造原则	(543)
8.2	(C)LSG,(C)LSS 小型立式生活燃煤锅炉的燃气改造	(545)
8.2.1	(C)LSG,(C)LSS 燃煤锅炉改造特点	(545)
8.2.2	(C)LSG,(C)LSS 燃煤锅炉燃烧器的选择	(547)
8.2.3	(C)LSG,(C)LSS 燃煤锅炉的燃气改造方案	(552)
8.3	WNL,DZG,DZL 卧式火管及水火管燃煤锅炉的燃气改造方案	(554)

8.3.1	WNL 卧式火管燃煤锅炉的燃气改造方案	(556)
8.3.2	DZG 卧式火管燃煤锅炉的燃气改造方案	(557)
8.3.3	DZL 卧式水、火管燃煤锅炉的燃气改造方案	(558)
8.4	水管燃煤锅炉的燃气改造方案	(561)
8.4.1	双锅筒纵置式水管锅炉的燃气改造方案	(563)
8.4.2	单锅筒纵置式“A”型锅炉的燃气改造方案	(569)
8.4.3	双锅筒横置式水管锅炉的燃气改造方案	(573)
8.5	燃煤锅炉改燃气后燃烧器的安装使用方法	(575)
8.5.1	半自动大气式引射式燃烧器的安装使用方法	(575)
8.5.2	全自动鼓风式燃烧器的安装使用方法	(577)

第9章 燃油燃气锅炉的自动控制

9.1	基本控制原理	(579)
9.1.1	动态过程的分析	(579)
9.1.2	控制系统的典型环节与环节的传递函数	(582)
9.1.3	常用控制类型	(586)
9.1.4	常用调节方式	(588)
9.1.5	自动控制系统的性能指标	(592)
9.2	燃油燃气锅炉的控制方案	(592)
9.2.1	饱和蒸汽锅炉	(593)
9.2.2	过热蒸汽锅炉	(598)
9.2.3	热水锅炉	(614)
9.2.4	茶水锅炉	(618)
9.3	燃油燃气锅炉的控制系统	(620)
9.3.1	集成电路专用控制器	(622)
9.3.2	带有中央处理单元的控制系统	(625)
9.3.3	传感器与执行机构简介	(635)

第10章 燃油燃气锅炉房设计

10.1	燃油燃气锅炉房设计的原始资料	(637)
10.1.1	新建锅炉房	(637)
10.1.2	扩建、改建锅炉房	(638)
10.2	燃油燃气锅炉房规模的确定	(639)
10.2.1	锅炉房热负荷的确定	(639)
10.2.2	锅炉类型的选择原则	(640)
10.2.3	锅炉台数和容量的选择原则	(641)
10.3	燃油燃气锅炉房的布置	(641)
10.3.1	锅炉房位置的选择	(641)
10.3.2	锅炉房布置	(642)

10.4	燃油系统设计	(645)
10.4.1	燃油供应系统	(645)
10.4.2	燃油的运输方式和卸油方式	(645)
10.4.3	油库设计	(647)
10.4.4	重油加热和保温	(653)
10.4.5	燃油管道设计和敷设要点	(654)
10.4.6	输油管线的的水力计算	(655)
10.4.7	燃油管路系统的辅助设施	(658)
10.4.8	锅炉房燃油管路系统	(660)
10.5	燃气系统设计	(664)
10.5.1	燃气供气系统	(664)
10.5.2	燃气管道布置及敷设要点	(668)
10.5.3	燃气管道的清扫和试压	(669)
10.5.4	燃气调压系统	(670)
10.5.5	调压站设计	(674)
10.5.6	燃气管道水力计算	(678)
第 11 章 燃油燃气锅炉的运行及事故处理		
11.1	燃油燃气锅炉的运行	(682)
11.1.1	锅炉的启动	(682)
11.1.2	锅炉的运行及调整	(689)
11.1.3	锅炉的停炉	(695)
11.2	燃油燃气锅炉运行中事故的处理及其预防	(696)
11.2.1	锅炉的回火、脱火、熄火事故	(696)
11.2.2	炉膛爆炸及烟道二次燃烧事故	(698)
11.2.3	锅筒水位事故	(700)
11.2.4	受热管爆破事故	(702)
参考文献		(706)

第 1 章 油气燃料概述

能源是人类赖以生存的基础和国民经济发展的动力。煤、石油及天然气等矿物燃料是常规能源的重要组成部分,它们通过燃烧提供生产和生活所必需的热能。我国的锅炉目前以煤为主要燃料,其燃烧产物中的二氧化硫和烟尘排入大气是造成大气污染的重点污染源。因此,调整能源消费结构,逐步提高使用液体燃料和气体燃料的比例,是加强环境保护的措施之一。石油和天然气是深埋在地下或水中的有机物残骸在一定的条件下,在漫长的地质年代中经过一系列物理化学变化而形成的。液体燃料或气体燃料有的是开采出来后可以直接使用,有的是煤或石油通过加工炼制而成的。它们的主要可燃成分为碳氢化合物,种类十分繁多。油、气燃料作为优质、高效、环保型清洁能源有着广阔的应用前景。

1.1 能源与燃料

1.1.1 能源

能源是自然环境中存在的,通过人类开发能够产生各种能量的物质资源。根据能量的利用形式和性质可以进行不同的分类。以化学能或原子能形式贮存于物质中,通过燃烧或原子裂、聚变后释放出热能的自然资源称为燃料能源,如化石燃料、草木、沼气、核燃料。而以光能、机械能或热能形式存在,可以直接利用的能量资源称为非燃料能源,如太阳能、水能、风能、地热能。

自然界中不需进行加工,可以直接应用的能源为一次能源,有煤、原油、天然气、水能、风能、太阳能等。其中矿物燃料和核燃料的生成速度极慢,而消费速度不断增长,最终会枯竭,故称为非再生能源;在自然界的物质和能量循环中能够重复生产的能源,如水能、风能、海洋能、生物质能、太阳能等,能量的消耗速度可与再生速度持平,经久使用而不会枯竭,故称为再生能源。经由一次能源的处理和能量形式转换而得到的能源称为二次能源,如焦炭、重油、煤气、电力、蒸汽等。目前,这些能量资源中在工农业生产和人类生活消费中得到广泛应用的部分被称为常规能源,如煤炭、石油、天然气、水力、核裂变等。其余的部分,如太阳能、风能、地热能、海洋能、核聚变能等,受到现阶段科学技术水平的限制,尚未大规模开发和广泛使用。它们在利用技术方面有待进一步研究完善,称之为新能源。燃料能源中的煤和石油,在使用时会对环境产生较严重的污染,属于不清洁能源;天然气污染很轻,与非燃料能源同属清洁能源。

能源是人类赖以生存的基础和国民经济发展的动力。人类社会的巨大发展与进步,都与能源消费的增长密切相关。能源利用和消费的每一次重大突破,都伴随着科学技术的重大进步,促进社会生产力的大幅度提高,加速了国民经济的发展,使人类社会的面貌发生根本的变化。人类从远古的钻木取火之后,薪柴燃料作为主要能源维持日常生活,并少量使用水力、风力等能源促进生产方式的变化。能源利用的重大突破出现在 18 世纪后半叶,1785 年蒸气机

的问世,把热能转换为机械能,推动了产业革命。机械化大工业生产的迅猛发展,促使能源由薪材燃料转向了化石燃料,首先是煤炭消耗量的迅速增加。19世纪中叶以后,内燃机的发明和火力发电厂的发展,以及钻探技术的提高,石油和天然气得到广泛应用。目前,人类社会生产和生活进入了电气化时代,对电能的需求量日益增长。由于产生电能的一次能源主要是煤和石油,都是非再生能源,长期强行开采势必使之日渐枯竭,能源的开发利用必须走多样化的道路。本世纪50年代,继原子能技术在军事上应用后,实现了核裂变技术在工业中的应用。核电站的建立和核燃料的使用是能源利用发展史上一次重大的技术革命,为人类社会稳定发展打下坚实的物质基础。随着科学技术水平的提高,太阳能、风能、海洋能、地热能等新能源必将得到充分的合理开发和利用,尤其是受控核聚变若能实现的话,将为人类提供无穷无尽的能量。

能源消耗与国民经济发展有着密切的关系,一般能源消费量的增长速度与国民生产总值的发展速度成正比。据统计,在主要工业发达国家中,1950~1975年间国民生产总值年平均增长率最低的是英国,为2.6%,它的能耗年平均增长最慢,只有1.2%;美国、法国、德国、前苏联按顺序提高;该期间国民生产总值年平均增长率最高的是日本,为8.7%,它的能耗年平均增长也最快,达8.8%。世界各国间能源消费存在很大的差距。1990年的数据统计表明,美国的人均能耗为11.70t标准煤,是世界人均能耗2.07t标准煤的5.65倍,而人口仅占世界人口的4.7%。中国人均能耗只有0.918t标准煤,不到世界平均水平的1/2,仅占美国人均能耗的7.8%,而人口却占世界人口的21%,是美国人口的4.5倍。极端不平衡的能源消费水平,从一个侧面反映出各国之间国民经济发展和物质生活水平的差距。因此,加强能源建设,提高人均能耗水平,是促进社会发展和进步的重要因素。

随着科学技术水平的提高和对能源需求的日益高涨,能源消费结构趋向多样化。当前,煤、石油和天然气仍是主要能源,新能源和替代能源的大规模使用有待时日。世界能源消费构成中,19世纪后半叶的50年间,煤炭在世界能源消费构成中的比例由25.3%增加到63.5%,是当时的第一能源。本世纪50年代后,煤炭的消费比例逐步下降,由1950年的57.7%下降到1990年的27.3%;同期石油和天然气消费不断增长,到1980年分别占世界能源消费总量的48.6%和19.9%。由于受到地域、价格和供求关系的影响,当前石油的消费量有所下降,但仍是第一能源。80年代后,水电和核电发展迅速,约占世界能源消费量的12%。

新中国成立后的50年间,我国的能源工业发展很快,能源消费增长超过20倍,极大地促进了国民经济的迅猛发展。中国的能源消费结构变化基本上与世界能源消费结构变化相同。由于受到能源储量和国民经济条件的限制,各类能源消费量占消费总量的比重有所不同。煤炭消费比重由50年代初约94%下降到90年代约75%;同期石油和天然气消费比重分别从约3.8%和0.02%上升到约17.4%和2.0%。目前水电的消费比重约5.3%,核电仅占0.4%。由此可见,煤炭仍是我国的第一能源,是我国冶金、电力、石化工业的主力军,这在相当长的时间内不会改变。煤炭能源利用率低,单位产值能耗高,而且大量工业部门直接烧煤,对环境产生严重的污染。因此,加快石油、天然气、水力的开发利用,加速核电事业的发展,调整产业和能源消费结构,是合理使用能源和减少对环境污染的重要途径。

1.1.2 燃料的生成、分类和化学组成

燃料是由可燃物质、不可燃成分和水分等物质组成的混合物,是常规能源的主要组成部

分,在燃烧过程中能够放出大量热量。天然矿物质燃料,除核燃料外,是由地壳内部深处的动植物残骸,历经数千万年漫长的生物、化学和物理变化而形成的。由于形成的原因、地质条件与年代的不同,产生了不同种类的燃料。

1. 燃料的生成和分类

矿物燃料主要由煤、石油和天然气组成。煤主要是远古时代的高等植物在地壳运动中被深埋在地下或水中,其残体在缺氧条件下被厌氧细菌生化降解,纤维素、木质素、蛋白质等被分解并聚缩,形成胶体状的腐殖酸。其余具有抗腐能力的部分如树脂、角质、孢子等保留原有形态分散在腐殖酸中,逐步变成含水很多、黑褐色的泥炭。这是成煤的第一阶段——泥炭化阶段。经过漫长的地质年代,泥炭在地热和泥沙覆盖层不断增厚或地壳下沉而受压增大的作用下,泥炭层被压实、失水,其化学性质和成分发生变化。泥炭的密度和碳含量相对增加,腐殖酸、水分、氧、氢和甲烷等挥发物逐渐减少。随着泥炭的质变由浅到深,依次形成不同种类的褐煤、烟煤、无烟煤等。这是成煤的第二阶段——煤化阶段。

石油的生成过程与煤相似。它的形成物质主要是低等动、植物遗体中的脂肪、蛋白质和碳水化合物。这些有机物质的沉积物在地壳长期缓慢下降中不断增厚,或在深水中被沉积保存。同样经历了缺氧或强还原环境中的细菌分解阶段和温度、压力增加条件下的转化阶段,碳和氢的含量富集,形成一种流动或半流动的粘稠性液体。石油的生成条件要求较严格,沉积过程初期,温度和压力不够,不能生成石油。当沉积深度达到 1 000~4 000m,温度达到 60~150℃时有机质生成大量石油。若压力和温度进一步增加,有机质被热分解,如深度超过 4 000m,温度超过 150~200℃后几乎不能生成石油。

天然气的形成物质非常广泛。除石油有机物质可以产气外,高等植物中的木质纤维腐烂分解,无机物质如地下深处碳钙等各种矿物的分解,都可以生成天然气。天然气的生成过程比石油容易、简单,除生成石油的压力和温度范围外,在常温、常压、高温、高压下均能产生气体。同时,天然气除在强还原环境外,有氧气存在的弱还原条件下,如沼泽地带也可生成。天然气中富集了有机物质被菌化或分解后形成的分散碳氢化合物,成为可燃气态。

燃料按物质状态可分为固体燃料、液体燃料和气体燃料三大类。天然燃料中的固体燃料包括木柴、煤、油页岩等,液体燃料主要是石油,气体燃料主要是天然气。这些燃料通过一定的加工处理后就转变成人工燃料。例如,木柴可以制成木炭,煤可以加工成焦炭、型煤、煤矸石等,石油可以提炼成汽油、重油、柴油、油渣等,煤和石油还可以制成各种煤气和石油裂化气等。

2. 燃料的组成

1) 液体燃料的组成

液体燃料中的石油主要由碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、硫(S)、灰分(A)和水分(M)等化学元素组成,它们以各种化合物的形式存在。其中,碳和氢是主要的可燃物质,氧和氮是不可燃元素,硫是燃料中的有害成分,灰分和水分影响燃料热值的高低。

(1) 碳和氢。碳是燃料中基本可燃元素,其含量(质量分数)一般占燃料成分的 83%~88%。氢是燃料中热值最高的元素,其含量(质量分数)一般占燃料成分的 11%~14%。这两种元素结合成各种碳氢化合物,也称为烃,按其化学结构不同一般分为烷烃、环烷烃和芳香烃三类。

碳在高温下着火燃烧,1kg 碳完全燃烧生成二氧化碳时可放出 32 783kJ 的热量;在缺氧或燃烧温度较低时会形成不完全燃烧产物一氧化碳,仅放出 9 270kJ 的热量。烃类物质受热分

解成为氢气或各种碳氢化合物气体挥发出来。氢是一种着火容易、燃烧性能好的气体,1kg 氢完全燃烧时可放出 120 370kJ 的热量,约是碳燃烧放热量的 3.67 倍。燃料中碳和氢各自含量的比例称为碳氢比,用符号 k_{CH} 表示, $k_{CH} = C/H$ 。碳氢比可以用来衡量燃料及燃烧的性能。碳氢比小的燃料热值较高,燃烧过程中着火容易、燃烧完全,形成的不完全燃烧产物如炭黑、一氧化碳较少。

(2) 氧和氮。氧是燃料中反应能力最强的元素,燃烧时能与氢化合成水,降低了燃料的热值。氮是燃料中的惰性与有害元素,在高温烟气中与氧生成氮氧化合物 NO_x (NO 及 NO_2), 排放后对环境形成污染。这两种元素在石油中的含量均很少,氮的质量分数约为 0.1%~1.5%,氧的质量分数一般小于 2%。氧的化合物大多数存在于沥青中,少数分布在渣油的油质和胶质中;而氮在石油中主要构成重杂原子化合物和石油酸(脂肪酸、环烷酸和酚),其中环烷酸其质量分数约占石油酸的 95%,特别易溶于水,是寻找石油田的重要标志。

(3) 硫。硫是燃料中的有害元素,在石油中以硫酸、亚硫酸或硫化氢、硫化铁等化合物的形式存在。硫也是一种可燃物质,其热值很低,1kg 硫燃烧后仅放出 9 040kJ 的热量。硫的燃烧产物二氧化硫和三氧化硫会对大气产生严重的污染,是形成酸雨的主要物质;若与烟气中的水蒸气反应生成硫酸或亚硫酸,在燃油锅炉低温受热面凝结后产生强烈的腐蚀作用。燃料在运输过程中对金属管道也有很强的腐蚀性。

硫是评价油质的重要指标。按照硫在燃料中的含量多少,可分成高硫油,质量分数大于 2%;含硫油,质量分数 0.5%~2%;低硫油,质量分数小于 0.5%。也有认为含量大于 1% 的即为高硫油。我国低硫石油有大庆、大港、克拉玛依等地的产品,胜利油田原油属含硫油,而高硫油主要集中在中东产油区。石油在加热蒸馏提取各种燃料油的过程中,80% 的硫残存在重馏分(润滑油、渣油)中。

(4) 灰分和水分。灰分是石油中的矿物杂质在燃烧过程中经过高温分解和氧化作用后形成的固体残存物(V_2O_5 、 Na_2SO_4 、 $MgSO_4$ 、 $CaSO_4$ 等),会在锅炉的各种受热面上形成积灰并引起金属的腐蚀。灰分的含量极少,质量分数小于 0.05%,但化学成分十分复杂,含有 30 多种微量元素,如铁、镁、镍、铝、铜、钙、钠、硼、硅、氯、磷、砷等。由于石油中的灰分具有较强的粘结性,燃油锅炉受热面上的积灰不易清除,含量很少的灰分会对长期运行的锅炉产生很大的影响。

除了灰分以外,石油及其产品在开采、输运、贮存过程中还会混入一些不溶物质,称为机械杂质,在燃料油中的含量(质量分数)约为 0.1%~0.2%。这些以悬浮或沉淀状态存在的杂质有可能堵塞或磨损油喷嘴和管道设备,使锅炉的正常运行受到影响。

通常石油与水共存在油田中,原油中含有很高的水分。燃料油中的高水分会使燃料的热值降低,导致燃烧过程中出现火焰脉动等不稳定工况或熄火,增大排烟热损失,一般是有害成分。只有少量水分呈乳状液并与油均匀混合,雾化后的油滴中水分先受热蒸发膨胀,油滴形成二次破碎雾化,改善了燃烧条件,提高燃烧火焰温度,可以降低不完全燃烧热损失。石油输运前要经过脱水处理,燃料油中的水分含量(质量分数)应低于 2%。

2) 气体燃料的组成

各种气体燃料均由一些单一气体混合组成,也包括可燃物质与不可燃物质两部分。主要的可燃气体成分有甲烷(CH_4)、乙烷(C_2H_6)、氢气(H_2)、一氧化碳(CO)、乙烯(C_2H_4)、硫化氢(H_2S)等,不可燃气体成分有二氧化碳(CO_2)、氮气(N_2)和少量的氧气(O_2)。其中可燃单一气体的主要性质如下:

(1) 甲烷。无色气体,微有葱臭,难溶于水,0℃时水中的溶解度为 0.055 6%,低位热值为 35 906kJ/m³。甲烷与空气混合后可引起强烈爆炸,其爆炸极限范围为 5%~15%。最低着火温度为 540℃,当空气中甲烷浓度高达 25%~30%时才具有毒性。

(2) 乙烷。无色无臭气体,0℃时水中的溶解度为 0.098 7%,低位热值为 64 396kJ/m³。乙烷最低着火温度为 515℃,爆炸极限范围为 2.9%~13%。

(3) 氢气。无色无臭气体,难溶于水,0℃时水中的溶解度为 0.021 5%,低位热值为 10 794 kJ/m³。氢气最低着火温度为 400℃,极易爆炸,在空气中的爆炸极限范围为 4%~75.9%。燃烧时具有较高的火焰传播速度,约为 260m/s。

(4) 一氧化碳。无色无臭气体,难溶于水,0℃时水中的溶解度为 0.035 4%,低位热值为 12 644kJ/m³。一氧化碳的最低着火温度为 605℃,若含有少量的水蒸气即可降低着火温度,在空气中的爆炸极限范围为 12.5%~74.2%。一氧化碳是一种毒性很大的气体,空气中含有 0.06%即有害于人体,含 0.2%时可使人知去知觉,含 0.4%时致人死亡。空气中允许的一氧化碳浓度为 0.02g/m³。

(5) 乙烯。无色气体,具有窒息的乙醚气味,有麻醉作用,0℃时水中的溶解度为 0.226%,低位热值为 59 482kJ/m³,相对较高。乙烯最低着火温度为 425℃,在空气中的爆炸极范围为 2.7%~3.4%,浓度达到 0.1%时对人体有害。

(6) 硫化氢。无色气体,具有浓厚的腐蛋气味,易溶于水,0℃时水中的溶解度为 4.7%,低位热值为 23 383kJ/m³。硫化氢易着火,最低着火温度为 270℃,在空气中的爆炸极限范围为 4.3%~45.5%。毒性大,空气中含有 0.04%时有害于人体,0.10%可致人死亡,大气中允许的硫化氢浓度为 0.01g/m³。

气体燃料各成分的性质见表 1-1。

3) 固体燃料的组成

固体燃料煤的主要化学成分与液体燃料相同,有碳、氢、氧、氮、硫、灰分和水分等。随着成煤的物质、地质条件和地质年代的差异,各种化学元素在煤中的含量(质量分数)变化范围很大。

主要可燃物质碳的质量分数约为 20%~70%甚至更多,煤化程度深的无烟煤含量最高,其热值一般高于其余品种的煤。氢的质量分数约在 2%~6%范围内,多以碳氢化合物形式存在,受热分解成为挥发性气体逸出。煤化程度浅的烟煤含量较高,容易着火燃烧。煤中氮的含量一般都很少,质量分数小于 2.5%。氧的含量随煤化程度加深而减少,无烟煤质量分数只有 1%~2%;烟煤及褐煤约 4%~15%;而泥煤高达 40%。有害元素硫的质量分数占 0.3%~5%,个别煤种还要高。高硫煤(>2%)在使用前或在炉内应采取脱硫措施,以防止对锅炉受热面严重腐蚀和造成对大气的污染。

煤中的灰分含量随煤品种不同而异,变化范围很大。质量分数小则仅为 4%~5%,大则可达 60%~70%(如石煤和煤矸石)。灰分含量高的煤种,降低了燃料的热值,影响燃烧过程的着火与燃尽,有可能加剧锅炉受热面的结渣、积灰、腐蚀和磨损,并增加了对大气的污染程度。水分在煤中的含量变化也很大,烟煤和无烟煤的质量分数约为 4%~15%,而褐煤可高达 40%。水分增加不仅使燃料热值减小,而且影响燃料的着火,延长燃烧过程,并使排烟热损失增大,增加了尾部受热面低温腐蚀和堵灰的可能性。

3. 燃料的分析基准及其换算