

燃油燃气锅炉

技术管理手册

A Guide to Oil-and Gas-fired
Boiler Operation

钱申贤 主编

中国建筑工业出版社

燃油燃气锅炉技术 管理手册

A Guide to Oil-and Gas-fired
Boiler Operation

钱申贤 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

燃油燃气锅炉技术管理手册/钱申贤主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2006
ISBN 7-112-08297-8

I. 燃... II. 钱... III. ①燃油锅炉—技术手册
②燃气锅炉—技术手册 IV. TK229-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 039561 号

全书共分十一章, 以燃油燃气锅炉的安全经济运行为主线, 包括: 锅炉基本知识及结构, 燃料与燃烧方法, 燃烧器和燃料供应系统, 正常运行的辅助设施和参数检测, 事故与故障处理及安全运行等内容。其中对燃烧器和燃料供应系统作了较详细的介绍, 同时还给出了锅炉经济运行中主要参数的量化方法。

本书是为燃油燃气锅炉设备管理技术人员编写的, 也可作为操作运行人员的参考读本, 同时可供有关专业技术人员参考。

* * *

责任编辑: 王雁宾 姚荣华 于 莉

责任设计: 董建平

责任校对: 张树梅 孙 爽

燃油燃气锅炉技术管理手册

钱申贤 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京千辰公司制作

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 17¼ 插页: 2 字数: 426 千字

2006 年 10 月第一版 2006 年 10 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 48.00 元

ISBN 7-112-08297-8

(14251)

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

国家经济的发展和人民生活水平的提高，对人们所处环境的保护也提出了更高的要求。在城市和居民聚居区把分散的、污染较难控制的燃煤锅炉改造或改换成燃油燃气锅炉，这项举措为改善大气环境发挥了重要作用，且具有明显的效果。因此，在这些地区燃油燃气锅炉得到了广泛的采用。

西气东送工程的实施，以及沿海地区液化天然气项目的建设，将改变东部经济发达和人口密集地区的燃料结构。在天然气所及地区，除了一部分用于燃气发电和居民家用之外，其余部分主要用作集中供热和一些公共、商业建筑的锅炉燃料。所以，相对来说，燃气锅炉的使用更为众多。

为了使从事锅炉设备管理的技术人员能够更好地实施有效的管理，我们组织编写了这本技术管理手册，希望为达到这一目标起到应有的作用。本书也可作为锅炉设备运行人员的参考读本，以利于他们比较全面地掌握有关知识和提高操作水平。

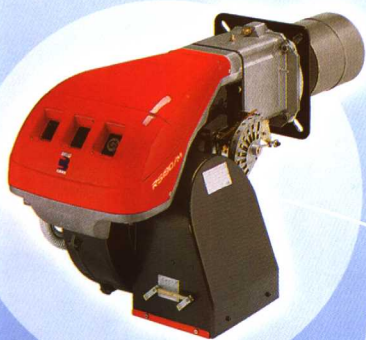
本书的编写是围绕锅炉本身的安全经济运行这一目标进行的，且着重于基本原理的叙述。对于目前燃油燃气锅炉自动控制系统，考虑到其专业性较强而未作详细介绍，仅有一般性的简单叙述。锅炉房方面的有关内容也没有涉及，可参阅其他书籍和手册。

全书共分十一章，大体上分为：锅炉及其基本知识、燃烧器和燃料供应系统、锅炉运行的辅助设施和参数检测、锅炉运行及安全环保等几个方面。第一章和第三章由北京交通大学贾力同志编写，第五章由北京建筑工程学院郭全同志编写，第六章的第一、二、三节、第八章的第一、二节、第九章的第一、二、五节、第十章的第一、二节和第十一章的第一、二节由山东建筑大学崔永章和山东商业职业技术学院王鑫同志编写，其余章节由北京建筑工程学院钱申贤同志编写。北京智得公司王学良总工提供了燃烧器方面的有关材料，并参加部分内容的编写。全书最后由钱申贤同志统稿和修订，并选配附录内容。

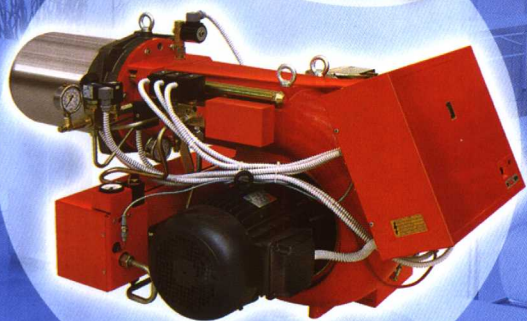
由于编者水平有限，书中错误和不足之处在所难免，祈请读者指正。

编者
2006年2月
北京

RIELLO BURNERS



NEW



蒸汽 / 空气雾化重油燃烧器

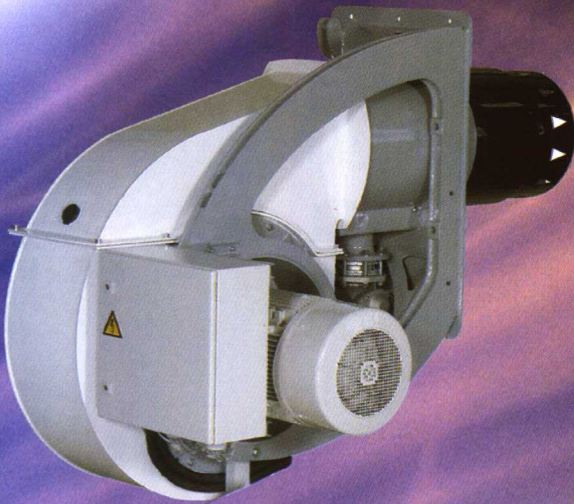
出力范围: 12kW-20MW

利雅路燃烧器

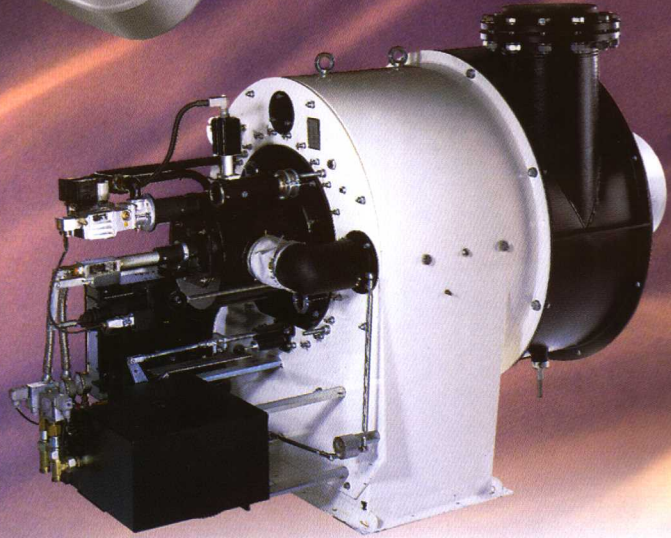




E 5.600 G-ZT

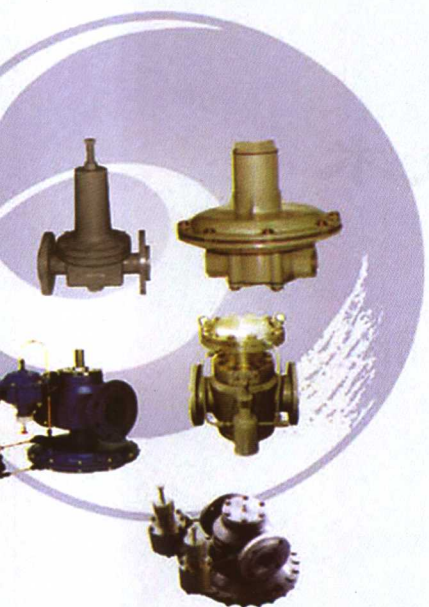


E 10.1400 G-EU2



RPD 50 GL-Y

- E 科盒式燃烧器
功能：15—2150kW
- E 科枪式燃烧器
功能：165—14000kW
- E 科分体式燃烧器
功能：8230—45000kW



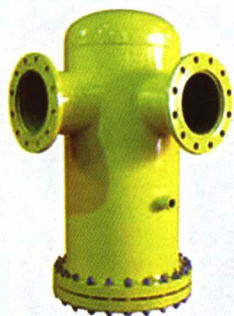
调压器系列



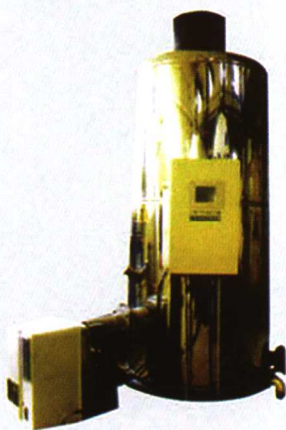
切断阀系列



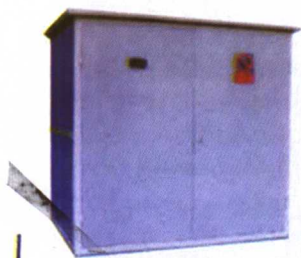
气体流量计系列



过滤器系列



小型常压热水锅炉系列



调压箱系列



目 录

前言

第一章 锅炉基本知识	1
第一节 锅炉及其功能	1
第二节 锅炉分类及技术参数	1
第三节 热工基础知识	3
第四节 流体力学基础知识	11
第五节 锅炉工质及特性	17
第六节 锅炉水质要求	19
第二章 油气燃料及其燃烧	25
第一节 燃油及其性质	25
第二节 燃气及其性质	33
第三节 燃料燃烧计算	40
第四节 油气燃烧过程和方法	46
第五节 油气燃烧设备	51
第三章 燃油燃气锅炉	59
第一节 概述	59
第二节 供热锅炉及其特性	60
第三节 锅炉内部过程	68
第四节 典型燃油燃气锅炉	69
第五节 锅炉安全附件	77
第四章 锅炉用燃烧器	89
第一节 燃烧器的结构	89
第二节 燃烧器的主要部件	94
第三节 点火、火焰检测与燃烧控制	102
第四节 燃烧器工作特性及火焰尺寸	106
第五节 燃烧器的功率调节	110
第五章 锅炉运行参数检测与控制	119
第一节 概述	119

第二节	温度的检测	120
第三节	压力的检测	124
第四节	液位的检测	125
第五节	烟气分析及燃烧过量空气的控制	127
第六节	锅炉自动保护与自动控制系统	133
第六章	锅炉运行辅助设施	140
第一节	水处理设备及系统	140
第二节	除氧设备	146
第三节	排污及补给水装置	150
第四节	排烟通风及热能回收装置	156
第七章	燃料供应系统	163
第一节	燃油的储存与输送	163
第二节	锅炉供油系统	172
第三节	锅炉供气系统	176
第四节	全自动燃烧器的供气安全装置	181
第五节	液化石油气供应	189
第八章	锅炉试运行与热工试验	196
第一节	锅炉运行前检查与准备	196
第二节	锅炉的启动	198
第三节	燃烧器的调整	201
第四节	锅炉试运行调整	204
第五节	锅炉的热工试验	206
第九章	锅炉运行与维护保养	211
第一节	锅炉的正常运行	211
第二节	锅炉停炉与保养	215
第三节	锅炉的日常检查及保养	218
第四节	安全附件的检查维护	221
第五节	燃烧器和燃料供应设备的维护保养	222
第十章	锅炉常见事故与故障及处理	225
第一节	锅炉事故与故障	225
第二节	锅炉运行事故及故障处理	227
第三节	安全附件故障及处理	238
第四节	燃烧器故障及处理	240

第十一章 消防安全与环境保护	244
第一节 消防及安全	244
第二节 锅炉污染物的排放及控制	249
第三节 噪声污染及其控制	254
第四节 热污染及其防治	258
附 录	260
主要参考文献	269

第一章 锅炉基本知识

第一节 锅炉及其功能

锅炉一般是指利用化石燃料燃烧释放的热能（或其他热能，如余热锅炉等），对水或其他工质进行加热，得到规定参数（温度、压力）和品质的热水、蒸汽或其他工质的热工设备。锅炉由“锅”和“炉”两部分组成。此外，为保证锅炉的正常安全运行，需要配置必要的附件、仪表、自控装置和辅助设备。

“锅”是指锅炉中盛水和蒸汽的部分。锅的作用是吸收燃料在炉中释放的热能，将水或蒸汽加热到一定温度和压力。单纯加热水的是热水锅炉，将水加热转换为饱和蒸汽的称为饱和蒸汽锅炉，如果锅炉出口蒸汽是过热蒸汽，则是过热蒸汽锅炉。因而，锅实质是指锅炉本体中盛有吸热介质的部分。

“炉”是指锅炉中燃料燃烧的部分，其作用是尽可能将燃料的化学能转化为热能，传递给吸热介质，使工质吸收热能，达到规定的参数。锅炉本体中“锅”与“炉”一般不是截然分开的两部分，通常是一体的，换热表面的一侧是“锅”，而另一侧则是“炉”，例如锅炉的水冷壁。

锅炉的用途十分广泛，与国民经济关系十分密切。对于火力发电系统，锅炉是其心脏部分，对于化工、纺织和印染等工业，锅炉是重要的关键性设备；日常生活中的食品加工、消毒和取暖供热等领域，锅炉则是热能的提供者。总之，锅炉是工业和民用热能的重要供应设备，不仅用于热能的直接利用，而且是热能间接利用的主要设备；此外，对于各类余热（废热）来说，锅炉也是重要的设备。

第二节 锅炉分类及技术参数

一、锅炉的发展简况

锅炉被人类使用已有三百余年历史，从小型、中型到大型，从微压、低压、中压到高压和超高压，主要沿增加供热能力、提高压力、降低能耗、减轻劳动强度和节省材料、改善污染等方向发展。

锅炉的形式主要是沿着多年来的改革方向发展，即“锅壳式”锅炉（火管锅炉）和“水管式”锅炉。前者主要在锅筒内部发展受热面，布置更多的火管或烟管；后者是在锅筒外增加受热面，增加了水管以增强介质吸热。

二、锅炉的分类

锅炉的分类方法很多，可以按锅炉的用途分，也可以按锅炉的结构、燃料种类分，还

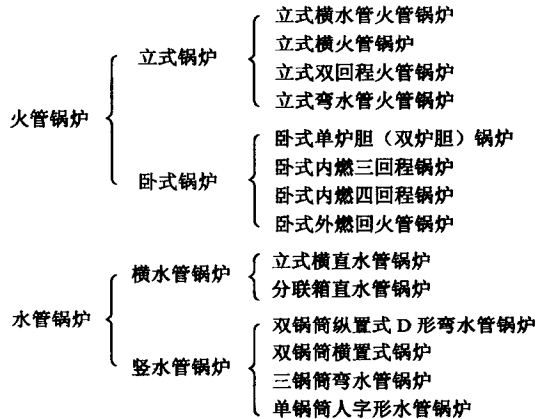
可以按水循环形式、压力分类。

1. 按锅炉用途分类

锅炉可作为热能动力锅炉和供热锅炉。动力锅炉包括电站锅炉、船舶锅炉和机车锅炉等，相应用于发电、船舶动力和机车动力。供热锅炉包括蒸汽锅炉、热水锅炉、热管锅炉、热风炉和载热体加热炉等，相应地得到蒸汽、热水、热风 and 载热体等。

2. 按锅炉本体结构分类

按锅炉结构分，主要分为火管锅炉和水管锅炉。火管锅炉包括立式锅炉和卧式锅炉，水管锅炉包括横水管锅炉和竖水管锅炉。细分如下：



3. 按锅炉用燃料种类分类

按锅炉用燃料种类分为燃煤锅炉、燃油锅炉和燃气锅炉等。燃煤锅炉按燃烧方式可以分为层燃锅炉、室燃锅炉和沸腾锅炉。

4. 按锅炉容量分类

蒸发量小于 20t/h 的称为小型锅炉，蒸发量大于 75t/h 的称为大型锅炉，蒸发量介于两者之间的称为中型锅炉。

5. 按锅炉压力分类

2.5MPa 以下的锅炉称为低压锅炉，6.0MPa 以上的称为高压锅炉，压力介于两者之间的称为中压锅炉。此外，还有超高压锅炉、亚临界锅炉和超临界锅炉。

6. 按锅炉水循环形式分类

按锅炉水循环形式可以分为自然循环锅炉和强制循环锅炉（包括直流锅炉）。

7. 按装置形式分类

可以分为快装锅炉、组装锅炉和散装锅炉。此外，还有壁挂锅炉、真空锅炉和模块锅炉等形式。

三、锅炉的技术参数

1. 蒸汽锅炉的技术参数

(1) 额定蒸发量 蒸汽锅炉每小时所生产的蒸汽数量，称为锅炉的蒸发量。用符号 D 表示，常用单位是 t/h。

(2) 额定蒸汽压力 蒸汽锅炉在规定的给水压力和负荷范围内长期连续运行时，应该

保证的锅炉出口蒸汽压力称为额定蒸汽压力，常用单位是 MPa。具有过热器的蒸汽锅炉，其额定蒸汽压力指过热器出口蒸汽压力；无过热器的蒸汽锅炉，其额定蒸汽压力指锅筒出口蒸汽压力。

(3) 额定蒸汽温度 蒸汽锅炉在规定的负荷范围内，在额定蒸汽压力和额定给水温度下长期连续运行所必须保证的锅炉出口蒸汽温度称为额定蒸汽温度，单位是℃。具有过热器的蒸汽锅炉，其额定蒸汽温度指过热器出口蒸汽温度；无过热器的蒸汽锅炉，其额定蒸汽温度是指锅炉额定蒸汽压力下对应的饱和温度。

(4) 锅炉热效率 锅炉热效率是单位时间内产出有效热量与单位时间内燃料燃烧放出的全部热量之比。锅炉热效率是锅炉的重要技术经济指标。锅炉热效率的正平衡热效率表述方法如下：

$$\begin{aligned}\text{热效率 } \eta &= \frac{\text{锅炉产出的有效热量}}{\text{燃料燃烧放出的全部热量}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{锅炉蒸发量} \times (\text{蒸汽焓} - \text{给水焓})}{\text{燃料消耗量} \times \text{燃料低位发热量}} \times 100\%\end{aligned}$$

通过测定和计算锅炉各项热损失可得到锅炉的反平衡热效率（详见后）。

(5) 锅水容量 指的是锅炉正常运行时锅炉内水所占的体积，可从某一方面说明其工作稳定程度。

2. 热水锅炉的技术参数

(1) 额定热功率 指的是单位时间内的供热量，常用单位是 kW 或 MW。有时也用单位时间内 20℃温升的出水量来表示。

(2) 额定工作压力 是正常运行情况下的最高允许锅内水压力，以 MPa 表示。

(3) 额定出水温度 是正常运行情况下最高允许出水温度，一般分 95℃和 115℃。供热锅炉的进出水温差一般为 20℃。

(4) 锅炉热效率 定义同蒸汽锅炉，有效热量为进出热水的温差乘以额定热水产量。

(5) 水容量 锅炉充满水时的水量，以 kg 或 L 计。

第三节 热工基础知识

一、热力学基本参数

工质在锅炉中吸热后，其物理状态有明显改变，而其中热力状态的变化反映了热量的吸收与释放。表征工质热力状态的基本参数有温度、压力和比容。

1. 温度

温度是表示物质冷热程度的物理量，是物体内部分子平均动能的标志，反映了物质分子热运动强弱的程度。表示温度的标度称为温标，国际单位制中采用热力学温标，或称绝对温标，用 T 表示，单位是 K（开）。热力学温标中规定水的三相点温度为 273.15K。在工程中常用的是摄氏温标和华氏温标两种。摄氏温标用 t 表示，单位是℃。摄氏温标与绝对温标的关系是

$$t = T - 273.15 \quad (1-1)$$

摄氏温标的 1℃和绝对温标的 1K 相等。英、美等国也常使用华氏温标，用 t_f 表示，单位是 °F。华氏温标与摄氏温标的关系是

$$t_f = \frac{9}{5}t + 32 \quad (1-2)$$

2. 压力

在工程中将单位面积上所承受的垂直作用力称为压力，物理学中称为压强，即

$$p = \frac{F}{S} \quad (1-3)$$

式中 p ——压力，Pa (N/m^2)；

F ——垂直作用力，N；

S ——面积， m^2 。

压力的单位是帕 (Pa)，工程中经常采用千帕 (kPa) 和兆帕 (MPa)，即 $1\text{kPa} = 10^3\text{Pa}$ ， $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。在工程实际中，往往用多种压力单位，各种单位之间的换算见附录 1。

压力的测量是建立在力的平衡基础上的，测压仪表的读数不是绝对压力数值。由于大气环境的作用，表示值是绝对压力与当地大气压力的差值，称为相对压力，或称表压。绝对压力与表压的关系为

$$p = p_b + B \quad (1-4)$$

式中 p ——绝对压力，Pa；

p_b ——表压 (示值压力)，Pa；

B ——当地大气压，Pa。

3. 比容与密度

单位质量的物质所占据的容积称为比容，用下式表示

$$\nu = \frac{V}{M} \quad (1-5)$$

式中 ν ——比容， m^3/kg ；

V ——容积， m^3 ；

M ——质量，kg。

单位容积所包含的质量称为密度，用 ρ 表示

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1-6)$$

式中 ρ ——密度， kg/m^3 。

比容与密度互为倒数，不是彼此独立的参数。

二、功、热量、比焓

在热力过程中，系统与外界由于不平衡势差的推动作用会发生能量交换，能量交换有两种方式，第一种方式是做功，第二种方式是传热。

1. 功和功率

功在力学中的定义是力与物体在力的方向上位移的乘积。在热力学中，功是热力系与外界之间在力差的推动下，通过界面传递的能量。例如，在有活塞的气缸中，当气体受热膨胀推动活塞，表明气体对活塞做功。功的符号记为 W ，热力学通常规定：热力系对外

界做功为正，外界对热力系做功为负。

从功的定义可以看出，它是通过边界传递的能量，是过程量，只是在能量传递过程中才有意义，不能说系统在某种状态下有多少功。

功的单位是牛顿·米 (N·m)，称为焦耳 (J) 或千焦 (kJ)。单位时间内所作的功称为功率，其单位是瓦 (W) 或千瓦 (kW)。1W = 3600J/h, 1kW = 3600kJ。

2. 热量

热量是热力系与外界之间在温度差的推动下，通过界面传递的能量。热量的传递是依靠分子的微观运动来完成的。热量常用符号 Q 来表示。同样规定为：系统吸收热量的数值为正，系统放出热量的数值为负。热量的单位与功的单位相同，为焦或千焦 (J 或 kJ)。单位时间内产生或消耗的热量称为热功率 (W 或 kW)。所以，热量也可用 kW·h 表示。

热量也是过程量，没有能量的传递过程也就没有热量。它不是状态参数，同样不能说系统在某种状态下有多少热量。

功与热量有不同之处，当系统完成功时，其对外界的作用可用在外界举起重物的单一效果来代替；而热的传递不能像功的传递那样，可以折合为举起重物的单一效果。另外，功转变为热量是无条件的，而热量转变为功则是有条件的。

计算热量时常采用物质的比热容概念。1kg 物质温度升高 1K (1°C) 所需的热量称为该物质的比热容 (简称比热)，其符号 c ，单位是 kJ/(kg·K)。因为热量是过程量，故对不同的加热过程来说比热的数值也不一样，有定压比热和定容比热之分。

各种功、能及热量单位的换算见附录 2，供实际使用。

3. 焓

焓是状态参数之一，其定义为

$$H = U + pV \quad (1-7)$$

$$h = u + pv$$

其中 H 表示 m kg 物质的焓，单位为 J； h 为 1kg 物质的焓，称为比焓，习惯上简称为焓，单位是 J/kg。

$$\text{显然} \quad H = U + pV = m(u + pv) = mh \quad (1-8)$$

式中 H, h ——焓，J；

U, u ——内能，J；

p ——压力，Pa；

V, v ——容积， m^3 。

内能是指组成热力系统的大量微观粒子本身具有的能量。内能包括分子的动能和分子力所形成的位能。单位质量的物质的内能称为比内能。

内能是工质内部储存能量的惟一形式，而焓不是储存能量的形式。焓是状态参数，它可表示为 p, v, t 中任意两个独立状态参数的函数。引入焓的概念，主要是为热力学分析和计算带来方便，例如，定压过程中系统的吸热量可用初终两个状态的焓之差直接算得。

三、传热学基础知识

锅炉中热量的传递过程十分复杂，但其基本传热方式是导热、对流和辐射。

1. 导热

导热是指物体各部分温度不同时，热量由高温物体传递给低温物体的过程。导热依靠物体内部微观粒子运动传递热量。

如图 1-1 所示单层平壁导热，两平行壁面间的距离是 δ ，两壁面之间温差为 $t_1 - t_2 = \Delta t$ 。如果壁的导热面积为 F ，则单位时间内通过平壁的热量为

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} F (t_1 - t_2) = \frac{\lambda}{\delta} F \Delta t \quad (1-9)$$

式中 Q ——导热热流，kJ/h (W)；

F ——导热面积， m^2 ；

λ ——平壁导热系数， $kJ/(m \cdot h \cdot K)$ ， $W/(m \cdot K)$ ；

δ ——平壁厚度， m ；

Δt ——温差， K 。

如果采用单位面积的导热热量表示，则式 (1-9) 变为

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t = \frac{\Delta t}{\frac{\delta}{\lambda}} \quad (1-10)$$

式中 q ——导热热流， $kJ/(h \cdot m^2)$ 或 W/m^2 ；

δ/λ ——导热热阻， $m^2 \cdot h \cdot K/kJ$ 或 $m^2 \cdot K/W$ 。

导热系数反映了材料传导热量的能力。如果物体以导热方式传递热量，其传热量与该物体热传导两侧的温度成正比，与该物体的厚度成反比。在温差确定的条件下，导热热流与导热热阻成反比，热阻越大，导热热流越小。因而，减少热阻可以增加传热量。

不同材料其导热能力不同，相同材料在不同条件下，导热能力也可能有所不同。导热能力强的材料称为热的良导体，例如：金、银、铜、铁和铝等。不容易导热的材料称为隔热或保温材料，例如：石棉、珍珠岩和泡沫塑料等。

工程计算中采用的导热系数一般由实验获得，在热物性文献及一些手册中可以查取相关材料导热系数。

2. 对流换热

对流换热是指流体与固体表面有相对运动时发生的热量传递现象。对于锅炉而言，其中的高温烟气与锅筒、烟管和水管、省煤器和空气预热器等换热现象都属于对流换热。对流换热是依靠流体本身运动实现能量交换的，不仅有流体的宏观运动，也包括在界面上的导热和流体内部的导热，因而对流换热是对流与导热的联合作用。

影响对流换热的因素很多，包括流体流动动力、流动状态、流体物性、表面粗糙度和表面形状等。

引起流体流动的作用力分为外力和浮升力。由外力（例如泵和风机的作用等）引起的工质流动时的换热，称为强迫对流换热，采用此原理的锅炉，称为强制循环锅炉；由于流体内部温度不同导致密度不同而引起的流动时的换热，称为自然对流，利用自然对流换热的锅炉称为自然循环锅炉。

对流换热是复杂的传热现象，流体流动状态直接影响换热效果。由于湍流中流体单个质点不规则运动，产生湍动和涡旋，流体强烈混合，传热明显增强，因而湍流流动时，对流换热较强。

对流换热可以分为单相换热和相变换热。单相换热是指在换热过程中工质的物相不发

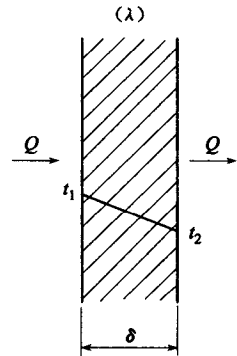


图 1-1 单层平壁导热