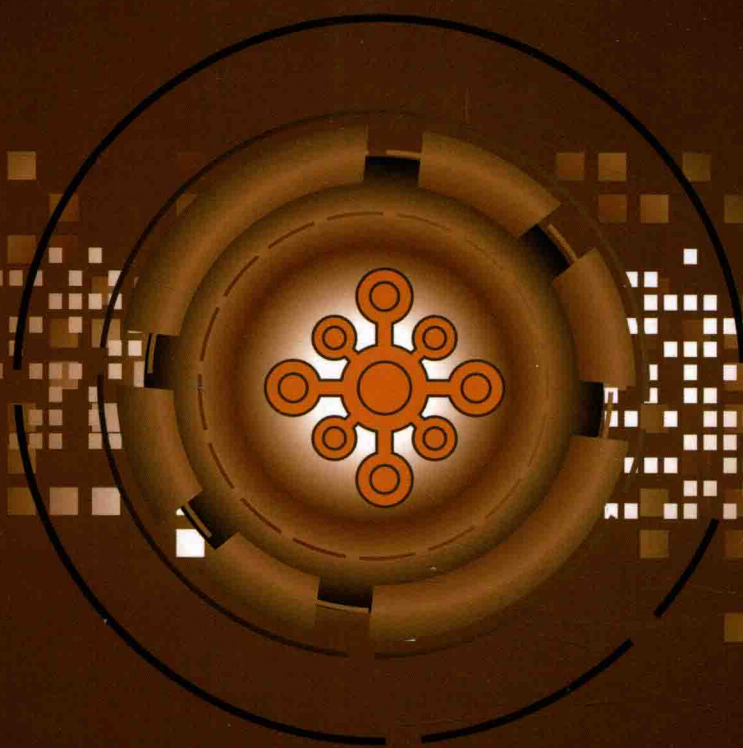


过程设备与工业应用丛书

# 燃烧技术、设备 与工业应用

廖传华 耿文华 张双伟 著



化学工业出版社

过程设备与工业应用丛书

# 燃烧技术、设备 与工业应用

廖传华 耿文华 张双伟 著



化学工业出版社

· 北京 ·

《燃烧技术、设备与工业应用》是“过程设备与工业应用丛书”的一个分册，本书在简要介绍燃料的种类和性质的基础上，从理论上系统介绍了燃烧过程的热工计算及其化学动力学基础、燃料着火过程及其火焰的传播与稳定，并分别介绍了气体燃料、液体燃料、固体燃料的燃烧过程与设备及其附属设备，并对燃烧过程造成的污染及其防治等进行了简明的阐述。

《燃烧技术、设备与工业应用》不仅适合石油、化工、生物、制药、食品、医药、环境、能源和机械等专业的高等学校的教师、研究生及高年级本科生阅读，同时对相关行业的工程技术人员、研究设计人员也会有所帮助。

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

燃烧技术、设备与工业应用/廖传华，耿文华，张双伟  
著. —北京：化学工业出版社，2017.8  
(过程设备与工业应用丛书)  
ISBN 978-7-122-29901-7

I. ①燃… II. ①廖…②耿…③张… III. ①燃烧设备-研究 IV. ①TK16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 133233 号

---

责任编辑：卢萌萌 仇志刚  
责任校对：王 静

文字编辑：陈 喆  
装帧设计：王晓宇

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 23 $\frac{3}{4}$  字数 588 千字 2018 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询：010-64518888(传真)；010-64519686 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：148.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

## FOREWORD

燃烧现象广泛存在于人类社会之中。从日常生活到工业交通及空间技术等方面，都要涉及如何以燃料作为能量来源和合理组织燃烧过程的问题，如何改进燃料的燃烧过程并提高热工效率已日益引起各工业部门的重视。为此，在江苏高校品牌专业建设工程资助项目（PPZY2015A022）的资助下，我们编写了这本《燃烧技术、设备与工业应用》。

燃烧研究的内容包括两部分，即燃烧理论和燃烧技术。燃烧理论着重研究燃烧过程所包括的各个基本现象，例如燃烧反应机理，预混可燃气体的着火和熄灭，火焰的传播机理、火焰的结构，单一油滴和炭粒的燃烧等。燃烧技术主要是把燃烧理论中所阐明的物理概念和基本规律与实际工程中的燃烧问题联系起来，对现有的燃烧方法进行分析和改进，对新的燃烧方法进行探讨和实验，以不断提高燃料利用率和燃烧设备的技术水平。

全书共分14章。第1章针对过程工业所用燃料的种类及特性，提出了对燃烧技术和燃烧设备的要求；第2章详细介绍了过程工业所用燃料的种类；第3章介绍了燃料燃烧过程的热工计算；第4章介绍了燃料燃烧的化学动力学基础；第5章介绍了气体燃料的燃烧过程；第6章介绍了气体燃料的燃烧装置；第7章介绍了液体燃料的燃烧过程；第8章介绍了液体燃料的燃烧装置；第9章介绍了液体燃料燃烧装置在有机废液处理中的应用——废液焚烧设备；第10章介绍了固体燃料的燃烧过程；第11章介绍了固体燃料的燃烧装置；第12章介绍了固体燃料燃烧在污泥处理中的应用——污泥焚烧过程与设备；第13章介绍了燃料燃烧装置的附属设备；第14章介绍了燃料燃烧造成的污染及其防治。

全书由南京工业大学廖传华、耿文华和南京三方化工设备监理有限公司张双伟著，其中第1章、第2章、第3章、第4章、第10章、第11章、第12章、第14章由廖传华著，第7章、第8章、第9章由耿文华著，第5章、第6章、第13章由张双伟著。全书由廖传华统稿。

全书从选题到材料的收集整理、文稿的编写及修订等方面都得到了南京工业大学黄振仁教授的大力支持，在此深表感谢。南京三方化工设备监理有限公司赵清万、许开明、李志强，南京工业大学李政辉对本书的编写工作提出了大量宝贵的建议，南京朗润机电进出口公司朱海舟提供了大量图片资料，研究生赵忠祥、闫正文、王太东、李洋、刘状、汪威、李亚丽、廖玮、宗建军等在资料收集与文字处理方面提供了大量的帮助，在此一并表示衷心的感谢。

本书的编写与修订工作历时三年，虽经多次审稿、修改，但由于作者水平有限，不足之处在所难免，敬请广大读者不吝赐教。在编写过程中参考了相关的文献资料，但书中未能一一列出，在此谨对原文作者致以衷心的感谢。

著者

2017年8月于南京工业大学

# 目录

# CONTENTS

## 第1章 绪论

- 1.1 燃料的种类 /001
- 1.2 燃烧方式 /002
  - 1.2.1 固体燃料的燃烧 /002
  - 1.2.2 液体燃料的燃烧 /005
  - 1.2.3 气体燃料的燃烧 /007
- 1.3 燃烧工况与燃烧的必要条件 /008
- 1.4 燃烧工艺与设备的应用和发展 /009

## 第2章 燃料的种类及性质

- 2.1 固体燃料的种类和性质 /011
  - 2.1.1 固体燃料的种类 /011
  - 2.1.2 固体燃料的成分分析 /014
  - 2.1.3 固体燃料的特性 /020
- 2.2 液体燃料的种类和性质 /023
  - 2.2.1 石油的炼制及其产品 /023
  - 2.2.2 液态产品的化学组成 /024
  - 2.2.3 液态燃料的特性 /025
  - 2.2.4 各种液态燃油 /029
- 2.3 气体燃料的种类和性质 /031
  - 2.3.1 天然气燃料 /032
  - 2.3.2 人造气体燃料 /033
  - 2.3.3 气态燃料的表示方法 /036
  - 2.3.4 气态燃料的特性 /037

- 2.4 燃烧的基本过程 /037
  - 2.4.1 着火 /037
  - 2.4.2 燃烧 /038
  - 2.4.3 熄火 /039
  - 2.4.4 火焰稳定化 /039
  - 2.4.5 脱火及其防止措施 /040
  - 2.4.6 回火及其防止措施 /041
- 参考文献 /042

## 第3章 燃烧过程的热工计算

- 3.1 燃料燃烧所需的空气量 /044
  - 3.1.1 液体燃料和固体燃料的理论空气需要量 /044
  - 3.1.2 气体燃料的理论空气需要量 /046
  - 3.1.3 实际空气供给量与空气消耗系数 /046
- 3.2 完全燃烧产物生成量、成分和密度 /047
  - 3.2.1 固体和液体燃料的燃烧产物生成量 /047
  - 3.2.2 气体燃料的燃烧产物生成量 /048
  - 3.2.3 燃烧产物成分百分比 /049
  - 3.2.4 燃烧产物密度 /049
- 3.3 不完全燃烧的燃烧产物 /050
  - 3.3.1 不完全燃烧产物生成量的变化 /050
  - 3.3.2 不完全燃烧产物成分和生成量的计算 /052
- 3.4 燃烧温度计算 /054
  - 3.4.1 无热离解时理论燃烧温度的计算 /055
  - 3.4.2 有热离解时理论燃烧温度的计算 /056
  - 3.4.3 理论燃烧温度的估算 /059
  - 3.4.4 影响理论燃烧温度的因素 /059
- 3.5 燃料的发热量 /060
- 参考文献 /063

## 第4章 化学动力学基础

- 4.1 化学反应速率与化学反应的分类 /064
  - 4.1.1 化学反应速率 /064

- 4.1.2 化学反应速率和浓度的关系 /065
- 4.1.3 化学反应的分类 /066
- 4.2 化学反应机理 /068
  - 4.2.1 分子热活化理论 /068
  - 4.2.2 活化分子碰撞理论 /070
  - 4.2.3 活化络合物(过渡态)理论 /072
  - 4.2.4 连锁反应 /074
- 4.3 影响化学反应速率的因素 /078
  - 4.3.1 温度 /078
  - 4.3.2 反应物浓度 /080
  - 4.3.3 压力 /081
  - 4.3.4 可燃混合气的配合比例 /082
  - 4.3.5 反应混合气中的惰性成分 /083
  - 4.3.6 活化能 /084
  - 4.3.7 温度和压力对可逆反应的影响 /084
- 参考文献 /085

## 第5章

# 气体燃料的燃烧过程

- 5.1 着火 /087
  - 5.1.1 热自燃理论 /088
  - 5.1.2 连锁自燃理论 /099
  - 5.1.3 点燃理论 /105
- 5.2 火焰的结构 /110
  - 5.2.1 预混火焰的结构 /110
  - 5.2.2 扩散火焰的结构 /111
  - 5.2.3 逆向喷流扩散火焰 /114
- 5.3 火焰的传播 /115
  - 5.3.1 层流火焰的传播 /115
  - 5.3.2 湍流火焰的传播 /124
- 5.4 火焰稳定 /126
  - 5.4.1 非流线体稳定火焰的机理 /126
  - 5.4.2 火焰稳定理论 /128
  - 5.4.3 射流扩散火焰的稳定 /129
  - 5.4.4 高速气流中稳定火焰的方法 /131
  - 5.4.5 火焰监视和保焰技术 /138



## 第6章

# 气体燃料的燃烧装置

- 6.1 气体燃料的射流扩散燃烧 /143
  - 6.1.1 气体燃料射流的层流扩散燃烧 /143
  - 6.1.2 气体燃料射流的湍流扩散燃烧 /146
  - 6.1.3 扩散燃烧火焰的类型 /149
- 6.2 气体燃料的预混燃烧 /150
  - 6.2.1 预混层流燃烧 /150
  - 6.2.2 预混湍流燃烧 /151
- 6.3 气体燃料的燃烧方法 /151
  - 6.3.1 有焰燃烧 /151
  - 6.3.2 无焰燃烧 /152
  - 6.3.3 半无焰燃烧 /153
- 6.4 气体燃料燃烧装置 /153
  - 6.4.1 有焰燃烧器 /153
  - 6.4.2 无焰燃烧器 /161
  - 6.4.3 其他烧嘴 /166

参考文献 /172

## 第7章

# 液体燃料的燃烧过程

- 7.1 液体燃料的雾化过程 /175
  - 7.1.1 雾化原理 /175
  - 7.1.2 雾化过程 /176
  - 7.1.3 雾化方法 /177
  - 7.1.4 油雾矩的特点 /178
  - 7.1.5 雾化颗粒平均直径的影响因素 /179
- 7.2 油雾与空气的混合 /181
- 7.3 油珠的蒸发 /181
  - 7.3.1 蒸发或燃烧时的油珠温度 /182
  - 7.3.2 油珠蒸发或燃烧时的斯蒂芬流 /182
  - 7.3.3 高温环境中相对静止油珠的蒸发速率 /183
  - 7.3.4 高温环境中相对静止油珠的能量平衡 /184



- 7.4 油珠的燃烧过程 /185
  - 7.4.1 相对静止油珠的燃烧 /185
  - 7.4.2 强迫对流条件下油珠的蒸发或燃烧速率 /187
  - 7.4.3  $d^2$  定律及油珠寿命 /187
  - 7.4.4 油滴群的扩散燃烧 /188
- 7.5 液体燃料的油雾燃烧过程 /190
- 参考文献 /192

## 第8章 液体燃料的燃烧装置

- 8.1 液体燃料燃烧过程的组织 /194
- 8.2 燃油烧嘴 /196
  - 8.2.1 机械喷嘴 /196
  - 8.2.2 气体介质雾化式喷嘴 /200
- 8.3 液体燃料燃烧装置的典型应用 /210
  - 8.3.1 燃气(涡)轮(发动)机燃烧室 /210
  - 8.3.2 燃油工业炉 /211
- 8.4 乳化油及其燃烧 /213
  - 8.4.1 乳化技术 /213
  - 8.4.2 乳化油燃烧机理 /214
  - 8.4.3 燃烧技术 /215
- 参考文献 /216

## 第9章 废液焚烧设备

- 9.1 焚烧处理流程及其特点 /219
  - 9.1.1 焚烧处理流程 /219
  - 9.1.2 有机废液焚烧存在的问题 /220
- 9.2 焚烧炉 /222
  - 9.2.1 液体喷射焚烧系统 /222
  - 9.2.2 回转窑焚烧炉 /224
  - 9.2.3 流化床焚烧炉 /225
- 9.3 有机废液的热值估算 /227
- 9.4 理论空气量与烟气组成 /228
- 9.5 废液焚烧技术的应用 /229

## 第10章 固体燃料的燃烧过程

- 10.1 固体燃料燃烧过程的分类 /232
  - 10.1.1 按燃烧特征分类 /232
  - 10.1.2 按燃烧方式分类 /233
- 10.2 炭粒的燃烧 /236
  - 10.2.1 炭粒的燃烧过程 /236
  - 10.2.2 炭粒的燃烧速率 /242
- 10.3 灰分对炭粒燃烧的影响 /251
- 10.4 固体炭粒的着火和熄火 /253
- 10.5 煤粒的燃烧 /255
- 参考文献 /258

## 第11章 固体燃料的燃烧装置

- 11.1 块煤的燃烧方式和燃烧装置 /260
  - 11.1.1 块煤的燃烧方式 /260
  - 11.1.2 层燃炉 /262
  - 11.1.3 沸腾燃烧炉 /272
- 11.2 粉煤的燃烧过程与装置 /275
  - 11.2.1 煤粉的燃烧过程 /276
  - 11.2.2 粉煤燃烧系统 /280
  - 11.2.3 粉煤燃烧器 /282
  - 11.2.4 旋风燃烧法 /288
- 11.3 生物质燃料的燃烧过程和装置 /291
  - 11.3.1 生物质成型燃料的燃烧过程 /291
  - 11.3.2 生物质成型燃料的燃烧装置 /293
  - 11.3.3 生物质燃料燃烧装置设计原则 /298
- 11.4 煤的气化 /298
  - 11.4.1 煤的气化过程 /299
  - 11.4.2 影响气化指标的主要因素 /301
  - 11.4.3 煤气发生炉生产过程的强化 /303
  - 11.4.4 煤气的净化 /303

11.4.5 煤水浆燃烧技术 /304

参考文献 /305

## 第12章 污泥焚烧过程与设备

12.1 污泥焚烧的基本原理及其影响因素 /307

12.1.1 污泥焚烧过程 /307

12.1.2 污泥焚烧的影响因素 /309

12.2 污泥焚烧工艺 /310

12.2.1 污泥单独焚烧工艺 /310

12.2.2 污泥混烧工艺 /315

12.2.3 污泥干化焚烧的工艺流程 /322

12.3 污泥焚烧设备 /322

12.3.1 多膛式焚烧炉 /322

12.3.2 流化床焚烧炉 /324

12.3.3 回转窑式焚烧炉 /327

12.3.4 炉排式焚烧炉 /328

12.3.5 电加热红外焚烧炉 /329

12.3.6 熔融焚烧炉 /330

12.3.7 旋风焚烧炉 /331

参考文献 /332

## 第13章 燃烧装置的附属设备

13.1 空气和燃料供给装置 /334

13.1.1 空气供给装置 /334

13.1.2 燃料供给装置 /335

13.1.3 煤气和空气混合装置 /340

13.2 点火装置 /340

13.2.1 点火方法 /340

13.2.2 点火器和点火烧嘴 /341

13.3 自动控制装置 /341

13.3.1 燃烧自动控制的原理 /341

13.3.2 自动点火、熄火以及安全装置 /341

13.3.3 运行中的自动控制装置 /344

## 第14章 燃烧造成的污染及防治

- 14.1 燃烧造成的大气污染 /349
- 14.2 烟尘的生成机理及防治 /350
  - 14.2.1 烟尘的生成及其危害性 /350
  - 14.2.2 烟尘的种类及生成机理 /351
  - 14.2.3 影响烟尘生成的因素及防治途径 /351
- 14.3 硫氧化物的生成机理和防治 /352
  - 14.3.1 硫氧化物的种类及生成机理 /353
  - 14.3.2 影响硫氧化物生成的因素及防治途径 /354
- 14.4 氮氧化物的生成机理及防治 /355
  - 14.4.1 氮氧化物的种类及生成机理 /355
  - 14.4.2 影响氮氧化物生成的因素 /356
  - 14.4.3 防治氮氧化物污染的措施 /358
- 14.5 低  $\text{NO}_x$  燃烧方法和燃烧器 /359
  - 14.5.1 低  $\text{NO}_x$  燃烧方法 /359
  - 14.5.2 低  $\text{NO}_x$  燃烧器 /360
- 14.6 燃烧噪声的形成机理及控制 /362
  - 14.6.1 噪声的物理量度 /362
  - 14.6.2 噪声的形成机理及控制 /364
- 参考文献 /367

# 第1章

## 绪论

火被人类掌握和使用以后，为人类的进步与发展做出了巨大的贡献。恩格斯对此曾作过科学论断：“火的利用第一次使人类支配了一种自然力，从而最终把人和动物分开。”故火的使用可以认为是出现人类的标志之一。人类自从学会使用火后，生产能力不断提高，社会也随之进步与发展。众所周知，18世纪产业革命的形成主要是由于蒸汽机的产生。蒸汽机之所以会产生，则是人类在使用火（燃烧燃料）方面所积累的大量知识与经验的结果。随着社会生产的发展，火的使用也越来越广泛，使用量（即所谓的能源消耗量）也越来越大。冶金、化工、交通运输、机械制造、纺织、造纸、食品以及国防等轻重工业和人们日常生活中无一能够脱离火的使用——燃烧技术。近年来，航空航天技术的迅速发展使人们实现了先人的梦想，但这需要很好地解决高能燃料（如液氢等）的燃烧问题，以制造出功率巨大的火箭发动机。

因此，人类的物质文明与燃烧技术是密切相关的。从某种意义上说，没有火，就没有人类社会的进步，也就没有今天的高度物质文明，即使在今后相当长的一段时期内也会如此。

### 1.1 燃料的种类

燃料是指能与氧发生激烈的氧化反应，并放出大量热量，且在经济上合理的一种物质。按燃料的形态，可将燃料分为固体燃料、液体燃料和气体燃料。

#### (1) 固体燃料

天然的固体燃料有各种煤、可燃页岩、木材、秸秆、谷壳以及各种植物的茎、叶等。人造固体燃料主要是煤和木柴加工后制得的焦炭、半焦与木炭。这些固态可燃物中，广泛用作工业燃料的只有煤和焦炭（包括半焦），近年来由于人们环保意识的增强，生物质固体燃料正在大力推广。

煤是埋藏于地层内已炭化的可燃物。它作为燃料比较便宜，而且我国的储藏量巨大，因此在煤源丰富及运输方便的地区均以煤作为主要燃料，是使用最广泛的一种固体燃料。

近年来，生物质材料成型燃料技术得到了长足的发展，具有一定粒度的生物质原料，在一定压力作用下（加热或不加热），可以制成棒状、粒状和块状等各种成型燃料。原料经挤压成型后，密度可达 $1.1\sim 1.4\text{t}/\text{m}^3$ ，能量密度与中质煤相当，燃烧特性明显改善，火力持久，黑烟少，炉膛温度高，而且便于储存和运输。目前生物质致密成型工艺从广义上可划分为常温压缩成型、热压成型和炭化成型三种主要形式。

## （2）液体燃料

由地层开采出的石油称为原油。将原油加热，在不同温度范围内可获得不同的石油产品。在常压直馏时，于 $40\sim 180^\circ\text{C}$ 馏出的为汽油， $50\sim 300^\circ\text{C}$ 馏出的为煤油， $200\sim 350^\circ\text{C}$ 馏出的为柴油，余下的重质油叫直馏重油，俗称常渣油。直馏重油如再经减压蒸馏，可分馏出各种润滑油和裂化原料，剩下减压渣油。直馏重油和裂化原料都可再经裂化处理，用来制取裂化汽油、裂化煤油，余下的为裂化残油。常渣油可直接供燃烧用，减压渣油和裂化残油则需加轻油调制后才能用作燃料。各种渣残油经掺和、调配，符合质量指标规定后，就是标准牌号的重油；未经配制或稍加调制，只部分符合指标却可供燃烧的则是渣油。通常所称的重油包括渣油在内。

早期的炼油在提取了轻质油以后将重质残油废弃，所以工业炉燃烧重油曾被视作是废物利用而被大力推广。但近年来石油化学工业得到了飞速发展，重质油又有了更重要的用途，所以是否燃用重油需要根据资源情况进行选择。

## （3）气体燃料

气体燃料（俗称燃气）也有天然和人造之分。天然气体燃料包括天然气、石油气与矿井瓦斯气等。人造气体燃料则是指对固体燃料和液体燃料进行加工制得的各种气体燃料和裂解气。

各种燃料的可燃成分虽有不同，但基本都是由碳、氢、硫、一氧化碳及碳氢化合物等组成。固体和液体燃料主要有碳、氢、硫等可燃成分，气体燃料有一氧化碳、氢、甲烷、硫化氢和烃类等可燃成分。燃料中的可燃成分与氧气相遇，发生强烈化学反应的过程叫做燃烧。燃烧过程的特点是：反应进行得非常迅速，并伴随有发光发热的现象，因此，概括地说，燃烧就是可燃质与氧发生的一种发光发热的高速化学反应。

# 1.2 燃烧方式

燃料燃烧，生成了燃烧产物（烟气）并放出热量。热量的一部分消耗在加热新燃料，使其温度迅速达到着火温度，其他部分热量则被炉中受热面内流动的工质（水、气水混合物或饱和蒸汽）所吸收。

燃料能否完全燃烧并放出全部热量，与燃烧炉的结构特点、采用的燃烧方式以及燃烧过程中的风量调节、运行方式等有关。

## 1.2.1 固体燃料的燃烧

固体燃料（煤）在工业中的燃烧方式，一般可分为层燃式、室燃式（或称悬浮式）和沸腾式三种。有些炉子的燃烧方式介于三种燃烧方式之间，例如，在层燃炉中采用风力抛煤机或机械抛煤机时，有不少微细煤粒被抛到燃料上方的空间燃烧，该炉子的燃烧方式就属于半悬浮燃烧或火炬-层燃方式。

## (1) 层燃方式

在层燃炉中只燃烧固体的燃料。图 1-1 所示为层燃炉的工作原理。将燃料送到固定的或移动的炉算上，形成厚度均匀的燃料层，空气通过炉算上的孔缝隙由下向上流动，空气与燃料之间没有相对运动，大部分燃料是在炉算上燃料层中燃烧。被吹至燃烧室空间的部分细屑煤粒和燃料层中燃料放出的挥发分，以及焦炭在燃烧时周围所形成未燃完的可燃气体，在燃料层上部的炉子空间燃烧。

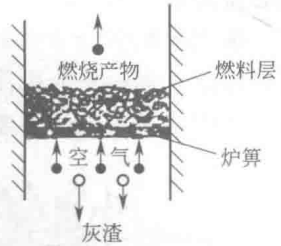


图 1-1 层燃原理

根据层燃炉的炉排结构特点，层燃炉可分为燃料层不动（固定炉排）、燃料层在炉排上移动（振动炉排和翻转炉排）和燃料层与炉排一起移动（链条炉排）三种，如图 1-2 所示。



图 1-2 层燃炉分类

上述各种层燃炉，其燃用的固体燃料采用 0~30mm 小块状，燃烧所需要的空气均由炉算下送入，因此，燃料在层燃炉中的燃烧速率就取决于燃料的表面积和送入空气的速度。燃料块越小，其表面积越大，燃烧反应进行得就越快。但过多的细屑煤粒除增大空气的流通阻力、影响空气的供给外，还易被烟气带走，增加了燃烧热损失。因此燃料粒径的大小对层燃炉的燃烧是有很大影响的。此外，空气的流速对燃烧速率也有影响，如提高空气流速，可以加快燃料的燃烧速率，但风速过大，可将部分燃料吹起，使燃料层的稳定性遭到破坏。

工业锅炉的蒸汽负荷是经常变动的，燃烧所需的燃料量也相应随之变动，所以可用改变空气供应速度和送入炉排上的煤量来适应负荷的需要。

层燃方式在中小型动力装置和工业锅炉中占有重要地位，其主要优点是热惰性大（即燃料供给与鼓风之间的协调性发生偏差时，敏感性差）；对燃烧技术要求不高，在防止燃料未飞出的情况下，可用增大鼓风机的办法来助燃。其缺点是不适用于大型动力装置，也不能实现完全机械化和自动化。

## (2) 室燃方式

燃料随气流喷入燃烧室内，呈悬浮状态燃烧。

气体燃料不必预热即可直接送入炉内燃烧，液体燃料需通过雾化器将其雾化成细雾状油滴后送入炉内燃烧。雾化除了增大油滴与空气的接触面积外，又可使油雾粒不易由气流中分离出来，所以油滴在炉内得以充分而完全的燃烧。固体燃料则应将其磨制成极细的煤粉后，由空气送入炉内燃烧。

根据炉内气流情况，室燃方式又可分为火炬燃烧方式与旋风燃烧方式。

① 火炬燃烧方式 燃料与空气的混合物送入炉内后呈火炬形式燃烧，如图 1-3 所示。燃料与空气之间几乎没有相对运动。采用这种燃烧方式的炉子称为室燃炉；燃用煤粉的室燃炉称为煤粉炉；燃用液体、气体燃料的称为燃油炉、燃气炉。煤粉炉按其排渣方式，又分为



固态排渣炉和液态排渣炉。

采用火炬燃烧方式时，燃料在炉内的停留时间很短，为3~4s，炉内没有富裕的燃料量，因此，该炉只能燃用极细粉状和雾状的燃料。燃料和空气应有稳定的供应，并能调节灵活，适应锅炉负荷的需要。

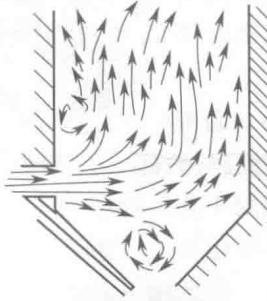


图 1-3 火炬燃烧方式

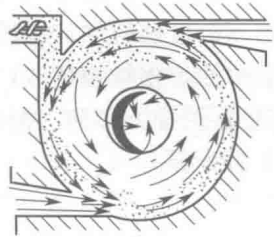


图 1-4 旋风燃烧方式

② 旋风燃烧方式 旋风燃烧方式是在圆柱形筒体（立式或卧式）内进行旋涡燃烧，如图 1-4 所示。空气及燃料沿切线方向送入炉内，在高速旋转的气流带动下，使燃料向前流动，并进行燃烧。由于离心力的作用，燃料颗粒沿着炉子内壁运动，最后由炉子的一端排出。燃料颗粒与气流之间有很大的相对运动，一方面加强了空气与颗粒表面的接触；另一方面使燃烧的产物易于脱离燃料表面，因此，旋风炉内的热强度很高。

旋风燃烧方式中，具有较薄的运动的燃料层。因燃料在炉子中逗留的时间较长，故可采用较粗的燃料颗粒。由于气流带动燃料颗粒在炉内运动，气流作用到燃料颗粒上的力应大于燃料颗粒本身的重量。采用旋风燃烧方式的炉子称为旋风炉。

室燃方式适用于大型动力装置。其主要优点是不易结渣、设备费用随负荷上升得慢，对负荷变化的适应性好。由于燃料颗粒的表面积大，又处于悬浮状态下燃烧，故气化效率比层燃式高；同时可燃用高灰分、高水分的劣质煤、无烟煤屑、不结焦的瘦煤等，还可实现全部机械化与自动化。虽然其制粉系统庞大，需消耗较多的电能，燃烧时烟气又带走大量飞灰，使飞灰损失增加，但其优点还是主要的，尤其涡流燃烧的旋风炉，燃烧过程强烈，热强度大、设备紧凑，所以室燃方式具有非常广阔的应用前景。

### (3) 沸腾燃烧方式

沸腾燃烧方式如图 1-5 所示，是将燃料破碎成直径为 0~8mm 的颗粒送入炉内，压力较高的空气从下面穿过布风板，将燃料层吹起。布风板上面的炉膛为倒锥形向上扩大，当燃料被吹起后，因炉膛内风速的减小，故燃料颗粒又落到截面较小的沸腾层上，沸腾风速又使燃料颗粒重新被吹起，因此造成燃料颗粒在炉膛空间来回翻腾和互相碰撞，如沸腾的液体，并形成一定厚度的沸腾层（800~1300mm）。由于燃料和空气的相对运动速度较大，使沸腾层内物料的混合大大加强，新燃料与燃烧着的燃料接触和碰撞，不断加热点燃。灰渣像水流那样通过溢流管流出。

沸腾燃烧的主要优点是单位面积布风板上的热强度大，燃料颗粒不断地在流体动力作用下混合、碰撞，有利于破坏颗粒的外层灰壳，阻碍燃料的黏结和结渣；因其处于低温燃烧（850~1000℃），能抑制硫化物及氮化合物的生成量，减轻大气污染。此外，由于其具有燃烧强烈、传热效率高的特点，所以能燃用低热值燃料，如煤矸石、石煤、油页岩、褐煤、低质烟煤、低质无烟煤等。这些低热值燃料资源非常丰富，因此有利于沸腾燃烧技术的应用。

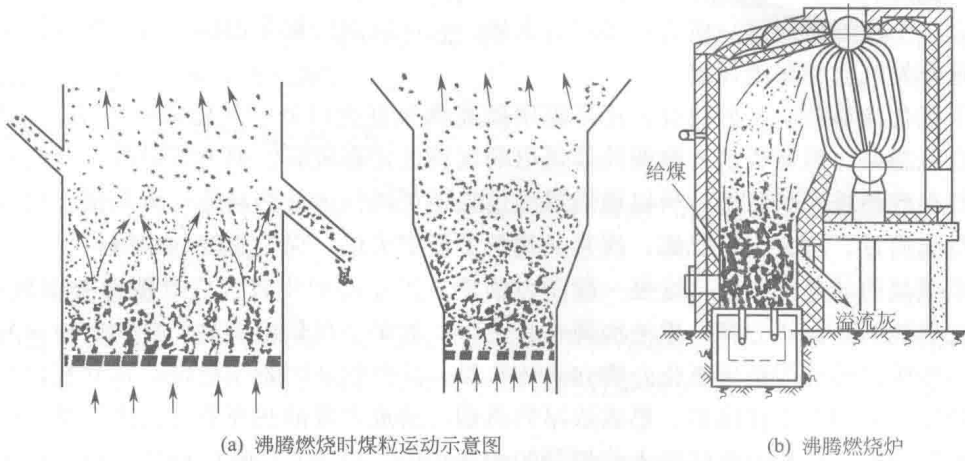


图 1-5 沸腾燃烧方式

与推广，可以节约大量优质燃料。沸腾炉渣还可综合利用，如作为制造各种建筑材料的掺和料等。

## 1.2.2 液体燃料的燃烧

工业上应用的液体燃料有重油、焦油等，其中以重油为主。以重油为燃料时，可在炉内直接燃烧。重油用油槽车（或用管路）运入厂内，存入储油罐中，然后靠油泵把油加压输送到油烧嘴。在油的输送管路中，需要用过滤器将油中的机械杂质除去。重油在通过油烧嘴燃烧时，需要把油喷成雾状，即进行雾化。在管路中应设有加热器加热重油，降低其黏度，以保证良好的雾化效果和流动性。此外，整个油路系统还伴随有蒸汽管加热和保温。重油通过油烧嘴后进入炉膛（或单独的燃烧室）中燃烧。

欲使燃料达到充分燃烧，首要的条件就是要供应足够的空气并使其与燃料均匀混合，故当已雾化好的液体燃料喷入燃烧空间后，怎么保证及时、正确地供应足够的空气量并与之充分混合将是保证液体燃料充分燃烧的关键。

一般燃油炉上常用一种配有旋流式调风器的喷燃器。喷燃器又叫燃烧器，它由雾化器和调风器组成。调风器的功用是正确地组织配风、及时地供应燃烧所需空气量以及保证燃料与空气充分混合。

燃油通过中间的雾化器雾化成细雾喷入燃烧室（炉膛），空气（或经过预热的热空气）经风道从调风器四周切向进入。因为调风器是由一组可调节的叶片所组成，且每个叶片都倾斜一定角度，故当气流通过调风器后就形成一股旋转气流。这时由雾化器喷出的雾状油滴在雾化器喷口外形成一股空心锥体射流，扩散到空气的旋流中去并与之混合、燃烧。由于气流的旋转，增大了喷射气流的扩散角，加强了油气的混合。叶片可调的目的是为了在运行中能借此来调节气流的旋转强度以改变气流的扩展角，使其与由雾化器喷出的燃油雾化角相配合，保证在各种不同工况下都能实现油与空气的良好混合。

油雾在着火前首先要加热、气化，然后与空气混合进行燃烧，为此就需要大量的热量来促使油雾蒸发气化，但仅依靠燃烧空间内的辐射热来加热往往是不够的。这是因为油滴的尺寸很小，没有足够的表面积来吸收较多的辐射热。工业实践中，一般是在雾化器的前端加装一个不良流线体（钝体），如圆盘或圆锥体等物，称之为稳焰罩。当空气绕流经过稳焰罩时，