



上海能效

节能环保产业系列丛书

# 工业锅炉清洁能源 替代及节能 改造 实用手册

上海市能效中心 编

上海科学技术出版社

节能环保产业系列丛书

# 工业锅炉清洁能源替代及 节能改造实用手册

上海市能效中心 编

上海科学技术出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

工业锅炉清洁能源替代及节能改造实用手册/上海市能效中心编. —上海: 上海科学技术出版社, 2015. 1

(节能环保产业系列丛书)

ISBN 978-7-5478-2294-4

I. ①工… II. ①上… III. ①工业锅炉—节能—技术手册 IV. ①TK229-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 145253 号

工业锅炉清洁能源替代及节能改造实用手册  
上海市能效中心 编

上海世纪出版股份有限公司 出版

上海科学技术出版社  
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行  
200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co  
苏州望电印刷有限公司印刷

开本 889×1194 1/32 印张 6.125

字数: 150 千字

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-2294-4/TK·15

定价: 40.00 元

---

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向工厂联系调换

## 内容提要

国家正在将中小锅炉清洁能源替代作为大气污染治理的重点工作予以积极推进,本书是在总结了上海市燃煤(重油)锅炉清洁能源替代推进的实践基础上编写而成,是节能与综合利用系列教材之一。编写者主要来自研究机构、节能服务公司、设备制造企业以及政府部门,积累了多年的锅炉方面的实践经验。

本书主要介绍目前企业如何开展燃煤(重油)锅炉清洁能源替代工作,分为8章,内容包括锅炉基本知识、锅炉燃料基础、锅炉房总体设计、清洁能源替代改造技术思路以及替代技术及案例。

全书注重理论与实践相结合,可作为企业开展燃煤(重油)锅炉清洁能源替代及节能改造的指导用书,也可作为政府或相关部门开展节能培训的参考用书。

## 编写委员会

主 编 原清海

副主编 吴金城 魏玉剑 陈 清 刘卫星  
俞增盛

编 委 秦宏波 张 麒 侯震寰 丁永青  
张泉根 许用权 周 渭 张 敏  
王茜茜 肖 榕 宋丹丹 薛桓荣  
刘正恩 刘 洋

# 前 言

节能环保产业是指为节约能源资源、发展循环经济、保护生态环境提供物质基础和技术保障的产业,是国家加快培育和发展的七个战略性新兴产业之一。节能环保产业是先进制造业和现代服务业紧密结合且极具发展潜力的综合性产业,具有科研、人才高度密集的特性和对其他产业的渗透、带动和引领作用,已成为新一轮国际竞争中的重要组成部分。培育发展节能环保产业,对加快经济发展方式转变、促进产业结构优化升级,实现绿色发展、循环发展、低碳发展具有重要意义。

2012年6月,国务院发布《“十二五”节能环保产业发展规划》;同年12月,上海市经济和信息化委员会发布《上海市节能环保产业发展“十二五”规划》;2013年8月,国务院出台《关于加快发展节能环保产业的意见》,再次提出节能环保产业是打造中国经济升级版的一项重要而紧迫的任务。为认真贯彻落实国务院意见,进一步推广普及节能环保产业相关知识,培育发展本市节能环保产业,加快城市生态文明建设,上海市能效中心组织编写了“节能环保产业系列丛书”,包括政策法规、实用技术、试点教材等类别。其中,政策法规类丛书介绍了“十一五”及“十二五”期间上海市制定的各项节能环保政策及解读;实用技术类丛书介绍了在电机系统、热力系统等方面较为先进和实用的节能技术;试点教材类丛书根据本市企业节能管理工作特点,结合能源管理师试点相关工作,编制了培训用试点教材。整套丛书涉及面广、内容丰富,希望对有志从事节能环保事业的各位读者能有所助益。

本书作为“节能环保产业系列丛书”重要组成之一,注重理论与实践相结合,全面介绍了燃煤(重油)锅炉清洁能源替代工作的

基本知识和做法,旨在指导企业开展燃煤(重油)锅炉清洁能源替代及节能改造。

节能环保产业“新”且“兴”,技术发展日新月异,囿于丛书编写时间和水平,书中难免有疏漏之处,敬请批评指正。

编 者

2014 年 10 月

# 目 录

|              |                     |    |
|--------------|---------------------|----|
| <b>第 1 章</b> | <b>工业锅炉清洁能源替代背景</b> | 1  |
| 1.1          | 中国在用工业锅炉的概况         | 1  |
| 1.2          | 近年工业锅炉的节能减排政策       | 1  |
| 1.3          | 上海市燃煤(重油)锅炉的现状      | 4  |
| 1.4          | 开展燃煤(重油)锅炉清洁能源替代的意义 | 5  |
| 1.5          | 开展燃煤(重油)锅炉清洁能源替代的方法 | 6  |
| <b>第 2 章</b> | <b>锅炉基本知识</b>       | 7  |
| 2.1          | 锅炉的定义及组成            | 7  |
| 2.2          | 锅炉工作过程              | 8  |
| 2.3          | 锅炉分类                | 10 |
| 2.4          | 锅炉型号编制方法            | 11 |
| 2.5          | 锅炉燃烧                | 14 |
| 2.6          | 燃清洁能源的锅炉            | 17 |
| 2.7          | 锅炉运行                | 23 |
| <b>第 3 章</b> | <b>锅炉燃料基础</b>       | 32 |
| 3.1          | 燃料分类                | 32 |
| 3.2          | 燃料成分                | 34 |
| 3.3          | 燃料各种基及换算            | 37 |
| 3.4          | 清洁燃料                | 38 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第 4 章 锅炉房总体设计</b>      | 41  |
| 4.1 锅炉房热负荷计算              | 41  |
| 4.2 锅炉选择原则                | 43  |
| 4.3 锅炉台数的确定               | 44  |
| 4.4 燃气调压装置                | 45  |
| 4.5 燃气锅炉房消防及安全            | 51  |
| <b>第 5 章 清洁能源替代改造技术思路</b> | 55  |
| 5.1 清洁能源替代技术优化设计          | 55  |
| 5.2 小联片集中供热               | 56  |
| 5.3 分布式供能热电冷联产            | 57  |
| 5.4 新能源——太阳能应用            | 58  |
| 5.5 燃气锅炉与电锅炉双热源优化         | 61  |
| 5.6 采用多台模块锅炉自动群控方案        | 61  |
| 5.7 清洁能源锅炉+太阳能光热双热源优化     | 65  |
| 5.8 热泵技术+太阳能光热双热源优化       | 66  |
| <b>第 6 章 替代技术及案例</b>      | 69  |
| 6.1 贯流式锅炉高效节能技术           | 69  |
| 6.2 冷凝式热水锅炉               | 72  |
| 6.3 冷凝余热回收技术              | 78  |
| 6.4 直流式锅炉(蒸汽发生器)技术        | 83  |
| 6.5 高温蓄热电锅炉技术             | 85  |
| 6.6 天然气分布式供能技术            | 91  |
| <b>第 7 章 非锅炉替代形式技术及案例</b> | 102 |
| 7.1 二氧化碳热泵技术              | 102 |
| 7.2 太阳能-空气源热泵组合集热技术       | 111 |
| 7.3 太阳能热泵技术               | 117 |
| 7.4 太阳能热泵热水技术             | 125 |

|              |                        |            |
|--------------|------------------------|------------|
| 7.5          | 太阳能光热技术 .....          | 131        |
| 7.6          | 相变蓄热式 PCM 太阳能集热器 ..... | 136        |
| 7.7          | 热源塔热泵技术 .....          | 142        |
| 7.8          | 喷油螺杆式空压机热回收技术 .....    | 148        |
| <b>第 8 章</b> | <b>锅炉节能技术及案例 .....</b> | <b>155</b> |
| 8.1          | 冷凝式深度烟气余热回收技术 .....    | 155        |
| 8.2          | 蒸汽蓄热器节能技术 .....        | 158        |
| 8.3          | 锅炉冷凝水回收的节能技术 .....     | 168        |
| 8.4          | 锅炉给水化学除氧节能技术 .....     | 172        |
| 8.5          | 水汽相变节能技术 .....         | 177        |
| 8.6          | 清洁能源低氮燃烧技术 .....       | 180        |

# 第 1 章 工业锅炉清洁能源替代背景

## 1.1 中国在用工业锅炉的概况

截至 2013 年全国在用工业锅炉总数为 58 万余台,其中燃煤工业锅炉约 49 万台,年耗煤量约 6 亿 t,约占全国年耗煤总量的 20%。中国工业锅炉平均运行效率不高,一般在 65%左右。工业锅炉在贯彻节能减排国家战略和发展洁净煤燃烧技术上有着重要地位。一是能耗高、节能潜力大。工业锅炉的煤炭消耗量居全国工业领域第二位,仅次于电站锅炉,远高于钢铁、石化、建材等高耗能行业。我国燃煤工业锅炉实际运行热效率比先进国家低 15%~20%,年节能潜力约为 1 亿 t。二是工业锅炉大多是低空排放,除尘脱硫装置简陋,氮氧化物排放基本没控制,对全国主要城市造成的污染物排放已经超过了电站锅炉,同时燃煤造成大量的二氧化碳温室气体排放,也引起国际上关注。

## 1.2 近年工业锅炉的节能减排政策

2004 年 11 月 25 日,国家发展改革委员会(简称发改委)发布了我国首个《节能中长期专项规划》(发改环资〔2004〕2505 号)。规划提出,到 2010 年每万元 GDP(1990 年不变价,下同)能耗由 2002 年的 2.68 t 标准煤下降到 2.25 t 标准煤,2003~2010 年年均节能率为 2.2%,形成的节能能力为 4 亿 t 标准煤。2020 年每万元 GDP 能耗下降到 1.54 t 标准煤,2003~2020 年年均节能率为 3%,形成的节能能力为 14 亿 t 标准煤,相当于同期规划新增能源生产总量 12.6 亿 t 标准煤的 111%,相当于减少二氧化硫排放

2 100 万 t。

2004 年,国家“十一五”规划纲要提出单位国内生产总值能源消耗降低 20%左右,主要污染物二氧化硫和化学需氧量的排放总量必须要比 2005 年全都下降 10%的约束性指标。

2006 年 4 月 7 日,国家发改委、国家能源局、国家统计局、国家质量监督检验检疫总局、国务院国有资产监督管理委员会联合发布了《关于印发千家企业节能行动实施方案的通知》(发改环资〔2006〕571 号)(以下简称《实施方案》),加强重点耗能企业节能管理,促进合理利用能源,提高能源利用效率。《实施方案》要求企业“加大投入,加快节能降耗技术改造。各企业每年都要安排一定数额资金用于节能技术改造”。

2006 年 7 月 25 日,国家发改委等部门发布了《关于印发“十一五”十大重点节能工程实施意见的通知》(发改环资〔2006〕1457 号)。明确了十大重点节能工程的主要内容。分别为:燃煤工业锅炉(窑炉)改造工程、区域热电联产工程、余热余压利用工程、节约和替代石油工程、电机系统节能工程、能量系统优化(系统节能)工程、建筑节能工程、绿色照明工程、政府机构节能工程、节能监测和技术服务体系建设工程。这十大重点节能工程是实现“十一五”单位 GDP 能耗降低 20%左右目标的一项重要工程技术措施。

2006 年 9 月 1 日,国务院发布《关于加强节能工作的决定》,提出 7 个方面的措施,加强节能工作。要点包括:加快构建节能型产业体系;着力抓好重点领域节能;大力推进节能技术进步;加大节能监督管理力度;建立健全节能保障机制;加强节能管理队伍建设和基础工作;切实加强节能工作的组织领导,省级人民政府要对本地区节能工作负总责,把节能工作纳入政府重要议事日程。

2007 年 7 月 3 日,国家发改委、环境保护部发布《关于印发煤炭工业节能减排工作意见的通知》(发改能源〔2007〕1456 号),主要是为促进煤炭工业节约、清洁、安全和可持续发展。要求在煤炭工业优先采用资源回收率高、污染排放少的清洁生产技术、工艺和设备,要加强在煤炭工业对余热等进行综合利用。

2007 年 10 月 28 日,《中华人民共和国节约能源法(修订)》

(中华人民共和国主席令第77号)颁布,2008年4月1日起施行。该法从法律层面将节约资源明确为基本国策,把节约能源发展战略放在首位。其中第三十一条规定,国家鼓励工业企业采用高效、节能的电动机、锅炉、窑炉、风机、泵类等设备,采用热电联产、余热余压利用、洁净煤以及先进的用能监测和控制等技术。

2007年11月23日,中国银行业监督管理委员会印发《节能减排授信工作指导意见》(银监发〔2007〕83号),要求银行业金融机构对得到国家和地方财税等政策性支持的企业和项目,对节能减排效果显著并得到国家主管部门表彰、推荐、鼓励的企业和项目,在同等条件下,可优先给予授信支持。

2008年8月29日,第十一届全国人民代表大会常务委员会第四次会议通过《中华人民共和国循环经济促进法》(自2009年1月1日起施行),其中第三十条规定,企业应当按照国家规定,对生产过程中产生的粉煤灰、煤矸石、尾矿、废石、废料、废气等工业废物进行综合利用。第三十二条规定,企业应当采用先进或者适用的回收技术、工艺和设备,对生产过程中产生的余热、余压等进行综合利用。

2009年7月,国务院发布了《2009年节能减排工作安排》的通知,对节能减排提出了新的要求,其中包括:严控高耗能、高排放行业盲目扩张;加快技术开发和推广;大力发展循环经济;着力抓好重点领域节能减排等。在完善相关经济政策方面,强调实行鼓励余热余压发电的上网和价格政策,这将有利于解除余热发电的瓶颈,促进余热发电行业的发展。

2010年4月,工业和信息化部发布《关于进一步加强中小企业节能减排工作的指导意见》,要求加快提高中小企业节能减排和资源综合利用水平,将加大财政资金支持力度,建立完善中小企业节能减排融资机制。

2011年3月,国务院发布了《我国国民经济和社会发展十二五规划纲要》,明确将资源节约和环境保护作为“十二五”期间的主要目标,其中包括:加快调整产业结构,大力发展服务业和战略性新兴产业,到2015年服务业增加值和战略性新兴产业增加值占国

内生产总值比例分别提高到 47% 和 8% 左右;大力推进节能降耗,到 2015 年形成 3 亿 t 标准煤的节能能力,单位国内生产总值能耗比 2010 年下降 16%;积极发展低碳能源,到 2015 年非化石能源占一次能源消费比例达到 11.4%,单位国内生产总值二氧化碳排放降低 17%。控制非能源活动温室气体排放,主要污染物排放总量显著减少,化学需氧量、二氧化硫排放分别减少 8%,氨氮、氮氧化物排放分别减少 10%,加强高排放产品节约与替代。

2013 年 9 月,国务院发布了《大气污染防治行动计划》。计划对 2017 年前大气污染治理给出了详细治理蓝图,并对各省市降低 PM<sub>2.5</sub> 浓度提出具体要求。到 2017 年,全国地级及以上城市可吸入颗粒物浓度比 2012 年下降 10% 以上,优良天数逐年提高;京津冀、长三角、珠三角等区域细颗粒物浓度分别下降 25%、20%、15% 左右,其中北京市细颗粒物年均浓度控制在 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  左右。此外,行动计划内容还对环境质量达标水平有量化的具体要求,以及对各行业的细分要求,并指出加快淘汰落后产能。提前一年完成钢铁、水泥、电解铝、平板玻璃等 21 个重点行业的“十二五”落后产能淘汰任务。

### 1.3 上海市燃煤(重油)锅炉的现状

上海市煤炭主要用于发电、供热、炼焦、制气等中间转换环节,以及作为工业原料和直接燃烧的终端消费环节。据统计,近年来本市中间转换和终端消费的煤炭消费量各占煤炭消费总量的 80% 和 20% 左右。以 2012 年为例,本市煤炭消费总量为 5 703 万 t,其中,中间转换环节消费量为 4 625 万 t,终端消费环节为 1 078 万 t (含集中供热锅炉消耗的 90 万 t)。在终端消费的煤炭中,作为工业原料使用量为 127 万 t,直接燃烧量为 951 万 t,其中宝钢大型窑炉的用煤量约 400 万 t,锅炉和窑炉燃烧约 390 万元,其他民用、统计外锅炉和窑炉使用约 164 万 t。

近几年来,随着产业结构调整,上海新增和在用的工业和生活锅炉数量逐年下降。2013 年上半年,市环保局联合市经济和信息

化委员会、市质量技术监督局等单位对全市燃煤(重油)锅炉和窑炉的情况进行了新一轮排摸,数据显示,本市目前在役的燃煤(重油)锅炉及工业窑炉共 2 943 台,其中,燃煤(重油)锅炉 2 581 台(总容量为 9 802 t/h),窑炉 362 台。上述锅炉和窑炉每年消耗煤炭约 390 万 t,重油约 10 万 t,木材约 30 万 t,焦炭约 6 万 t,共折合标准煤约 313 万 t。这些燃料燃烧排放二氧化碳约 826 万 t,二氧化硫 2.4 万 t,氮氧化物 2.4 万 t,粉尘 1.31 万 t。

上海市目前中心城区已基本完成燃煤(重油)锅炉和窑炉的清洁能源替代工作,在役的近 3 000 台锅炉和窑炉大部分分布在郊区县,且基本分布在 104 个工业区块之外,区块内的只有约 870 台。就锅炉规模而言,全市锅炉大部分为 10 t 以下,其中,1 t/h 以下约 899 台,共 250 t/h;1~4 t/h 以下的约 832 台,共 1 417 t/h;4~10 t/h 以下的约 653 台,共 3 074 t/h;10 t/h(含)以上锅炉仅 197 台,但容量占比大,约为 5 061 t/h,占全市锅炉容量总数的一半以上。就用途和行业分布而言,全市锅炉主要用于三方面:一是工业生产,分布在纺织、化工、食品加工、建材、冶金等行业;二是供热等市政公用建筑,如学校、医院等;三是商业设施,如浴室、酒店、餐饮店等。

## 1.4 开展燃煤(重油)锅炉清洁能源替代的意义

根据国家研究制定的《大气污染防治行动计划》有关考虑和部署,以及各省市的要求,为进一步削减各地分散燃煤、改善大气环境质量、优化能源结构,“十二五”期间,各地正加快推进燃煤(重油)锅炉和工业窑炉清洁能源替代工作。

未来我国的经济仍将持续增长,利用天然气等清洁能源替代燃煤(重油)可提高能源利用率,对实现低碳经济的转变有积极推动作用。

与同类型国际化大都市相比,我国多地的环境空气质量仍有极大的改善空间,按国家对各地减排的要求相比,未来我国的减排压力仍将较大;实施清洁能源替代燃煤(重油)可有效降低二氧化

碳、二氧化硫、氮氧化物、粉尘等温室气体和污染物的排放。

按“十二五”能源规划,到“十二五”期末,在控制燃煤总量的前提下,燃煤的比重在能源总体结构中将下降,与此同时,随着天然气等清洁能源的不断引进,清洁能源的结构比例会相应上升。能源供应多样性以及清洁能源的推广使用是优化能源结构、保障能源供应安全的内在要求。

## 1.5 开展燃煤(重油)锅炉清洁能源替代的方法

一是引逼结合,强化标准和执法。以国家加强大气污染防治为契机,结合全市煤炭总量控制要求,按照“引逼结合、以逼为主”的原则,以提高环保标准和严格执法为主要手段,加大政策引导和资金扶持力度,加快燃煤(重油)锅炉和窑炉清洁能源替代。

二是因地制宜,分类指导和推进。根据燃煤(重油)设施的功能、规模、排放水平,制订到2015年、2017年分阶段推进目标和工作计划。各区县政府根据企业分布情况和外部配套条件,指导企业采取燃气管输/非管输、电力、集中供热等多种形式进行替代,降低企业的改造成本和运行费用。

三是鼓励先行,实施差别化政策。鼓励企业提前改造,并根据改造的时间,给予不同程度的补贴。鼓励各区县政府加大政策支持力度。

以上海市为例,到2015年底,上海市完成2898台燃煤(重油)锅炉和窑炉的清洁能源替代。中心城区2013年基本完成燃煤(重油)锅炉和窑炉清洁能源替代;2013~2015年,郊区县逐年完成现有总量的35%、40%和25%的清洁能源替代任务。鼓励集中供热和热电联产企业在2015年底前,实施清洁能源替代。到2017年底,全市完成集中供热和热电联产锅炉的清洁能源替代。

完成上述目标后,到2015年底,预计上海市每年可减少分散燃煤285万t、重油10万t、木材30万t、焦炭6万t。到2017年底,预计全市每年可进一步减少分散燃煤105万t。

## 第 2 章 锅炉基本知识

### 2.1 锅炉的定义及组成

锅炉是一种热能转换设备。它将矿物质燃料(如煤、石油、天然气)、生物质燃料及可燃废弃物燃料燃烧释放出的化学能或热能,转换为具有一定温度和压力的工质(如蒸汽、热水、热载体等),来满足人们生产和生活的需要。

锅炉设备和辅机系统是由锅炉本体(主机)、辅机设备、环保设备、水处理设备、安全附件仪表及控制系统等组成。

#### 2.1.1 锅炉本体(主机)

锅炉本体是由人们俗称的“锅”和“炉”两大部件组成。“锅”是指锅炉本体范围内工质循环系统的总称,一般由锅筒、集箱、辐射受热面(管)、对流受热面(管)、下降管等部件组成;“炉”是指锅炉本体范围内燃烧设备的总称,燃油气锅炉一般包含:燃烧器、燃烧室、烟道等。燃煤锅炉一般包含:层燃炉的炉排(流化床炉的布风板)、炉膛、煤斗、煤闸门、配风装置、烟道等。“锅”和“炉”并不是独立存在和独立工作的,而是相互有机融合在一起,共同构成了一个完整的锅炉本体。

#### 2.1.2 辅机系统

锅炉本体必须配备必要的辅机系统才能实现连续正常运行。锅炉房一般有如下一些辅机系统:

① 燃料供应系统,作用是保证供应锅炉连续运行所需要的燃料,主要包括燃料的储存、加工和输送装置。