

GONGYE GUOLU JISHU GAIZAO

工业锅炉技术改造

国家物资总局《工业锅炉技术改造》编写组



中国铁道出版社

内 容 简 介

本书简要阐述了锅炉的基本知识，分析了现有工业锅炉存在的问题，介绍了目前锅炉改造过程中较为适用的燃烧设备，以及改炉中应注意的一些事项。为了检验改炉成果，还介绍了锅炉热效率试验方法。

本书可供工业锅炉管理人员，工程技术人员和工人使用，并可供从事锅炉设计制造单位的有关人员参考。

工业锅炉技术改造

国家物资总局《工业锅炉技术改造》编写组

中国铁道出版社出版

责任编辑 王潜明 封面设计 王毓平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：6.25 字数：137 千

1982年11月 第1版 1982年11月 第1次印刷

印数：0001—31,000册 定价：0.80元

前 言

锅炉是重要的热力设备,我国现有工业锅炉约二十万台,燃料消耗占全国燃料总消耗量三分之一左右,由于炉型众多,分布面广,燃料品种不一,有一定数量的锅炉不符合保产保暖、安全运行、节约能源、保护环境的要求,需要因煤、因炉、因地制宜地进行适当的技术改造。

多年来,各地在锅炉改造方面做了不少工作,收效显著。目前已有了一批比较适用的燃烧设备和炉型,本书着重介绍它们的结构、特点和改造、使用方法,供各地改炉参考。煤粉炉、抛煤机炉和振动炉排,由于消烟除尘问题没有能很好解决,这次未做介绍。

本书由哈尔滨工业大学陈崇枢、孙恩召同志、西安交通大学张永照同志、清华大学康继兴同志、国家物资总局张继陶同志和陕西省物资局王宗佑等同志编写。由陈崇枢、王宗佑、孙恩召同志主编,张继陶同志主审。

由于编写者水平有限,错误和不足之处定然难免,欢迎读者指正。

本书在编写过程中,蒙农机部第二设计院杨泽来同志在绘图方面给予协助,沈阳市环保局等单位一些同志提供资料和协助工作。在此,一并致谢。

国 家 物 资 总 局
《工业锅炉技术改造》编写组
一九八一年四月

目 录

第一章 锅炉基本知识	1
第一节 燃烧过程	2
一、预热和干燥	2
二、挥发份析出(干馏)	2
三、可燃气体的着火和燃烧	3
四、焦炭的燃烧和燃尽	3
第二节 传热过程	8
一、导 热	8
二、对 流	9
三、辐 射	12
第二章 工业锅炉的技术改造	15
第一节 对锅炉改造的技术要求	15
一、确保锅炉出力	15
二、运行必须安全	17
三、提高锅炉效率,节煤节电	25
四、消烟除尘,减少大气污染	29
第二节 工业锅炉的改造方向	31
第三章 链条炉	35
第一节 燃烧过程的主要特点	36
第二节 炉排结构	37
一、链带式	37
二、横梁式	42
三、鳞片式	43

第三节 炉膛结构	47
一、炉 拱	47
二、二次风	53
第四节 燃用无烟煤的链条炉	56
一、炉排及炉膛布置	56
二、稳定着火、强化燃烧的措施	57
第五节 链条炉举例	60
一、手烧K型锅炉改用链条炉	60
二、SZZ4型锅炉改为6.5吨/时的链条炉	61
三、燃烧贫煤的链条炉	62
第四章 往复推饲炉排炉	65
第一节 工作原理和燃烧特点	65
第二节 炉排结构	68
一、炉排片	68
二、炉排的侧密封和炉排片的材质	78
第三节 炉膛结构	79
一、炉 拱	79
二、二次风	80
三、分段（或分室）送风	81
第四节 往复推饲炉排锅炉举例	82
一、燃烧劣质烟煤的锅炉	82
二、燃烧烟煤的锅炉	83
三、燃烧褐煤的锅炉	84
四、燃烧无烟煤的锅炉	86
第五节 水平往复推饲炉排	87
第五章 沸腾炉	91
第一节 沸腾炉的工作特点	91
一、沸腾炉结构简介	91

二、沸腾炉的特点	92
第二节 沸腾炉炉膛设计	94
一、炉膛尺寸的确定	94
二、布风系统及其设计	98
三、受热面的布置	102
第三节 沸腾炉举例	102
一、燃烧褐煤的沸腾炉	102
二、燃烧无烟煤的沸腾炉	105
三、燃烧石煤的双床沸腾炉	107
四、燃烧煤矸石的沸腾炉	109
第六章 其它机械化炉	111
第一节 下饲式炉	111
一、燃烧特点	111
二、结构与设计	113
第二节 抽板式顶煤机	117
第三节 水平机械抽条炉排	119
第七章 简易煤气锅炉	122
第一节 简易煤气炉的气化过程	122
第二节 简易煤气炉的结构与设计	125
一、煤气发生室的结构	126
二、煤气发生室的设计	126
三、点火室和燃烧室	133
第三节 简易煤气锅炉举例	134
一、具有外置水冷夹套式煤气发生室的锅炉	134
二、具有砖砌（管笼式）煤气发生室的锅炉	135
三、具有内置煤气发生室的铸铁锅炉	137
四、简易煤气——蒸汽两用锅炉	138
第四节 简易煤气锅炉的操作要点	139

第八章 手烧炉的技术改造	141
第一节 减少炉膛水冷度	141
一、铸铁锅炉.....	141
二、立式锅炉.....	143
三、快装锅炉.....	144
四、水管锅炉.....	145
第二节 双层炉排炉	147
一、结构概述.....	147
二、燃烧过程的主要特点.....	148
三、操作要点.....	150
四、锅炉举例.....	151
五、设计时需要考虑的主要问题.....	153
第三节 上燃式手烧炉	154
一、结构和燃烧过程特点.....	154
二、上燃式手烧炉示例.....	157
第九章 锅炉的热效率试验	159
第一节 锅炉热平衡方程式和锅炉效率	159
第二节 锅炉的正平衡试验	161
一、燃料输入热量.....	161
二、锅炉有效利用热量.....	163
三、正平衡试验的锅炉效率.....	164
第三节 锅炉的反平衡试验	165
一、固体未完全燃烧热损失.....	165
二、气体未完全燃烧热损失.....	169
三、排烟热损失.....	170
四、散热损失.....	172
五、灰渣物理热损失.....	173
第四节 锅炉试验中的注意事项	174

一、试验前的准备工作·····	174
二、试验要求·····	175
第五节 锅炉主要物理量的测定·····	178
一、蒸发量和循环水量的测量·····	178
二、煤量和灰量的测量·····	179
三、压力和温度的测量·····	180
四、蒸汽湿度的测量·····	181
第六节 煤、灰和烟气的分析·····	184
一、煤的工业分析·····	184
二、灰渣含碳量的分析·····	188
三、烟气成分的分析·····	189
第七节 简易煤气锅炉的热效率测定的探讨·····	191

第一章 锅炉基本知识

锅炉是把燃料的化学能转变为蒸汽（或水）的热能的设备。

燃料在锅炉炉膛里进行燃烧，生成高温产物——烟气。烟气则通过锅炉的金属壁把热量传给水，使之加热成热水或汽化成蒸汽。前者叫做热水锅炉，后者叫做蒸汽锅炉。

锅炉产生的热水或蒸汽可供采暖和生产的需要。

热水锅炉的性能通常用每小时的产热量（万千卡/时）和供水、回水温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）来表示。蒸汽锅炉的性能则常用锅炉出力（蒸发量）和蒸汽参数（压力和温度）来表示。锅炉出力即每小时锅炉生产的蒸汽量，通常以吨/时表示。蒸汽参数是指锅炉主汽阀后的蒸汽压力（公斤力/厘米²）和温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。旧式蒸汽锅炉（如兰开夏、康尼许锅炉等）也有用锅炉马来表示锅炉出力的。

按照蒸汽压力的不同可将锅炉分为低压的、中压的和高压的几种。本书讨论的是低压

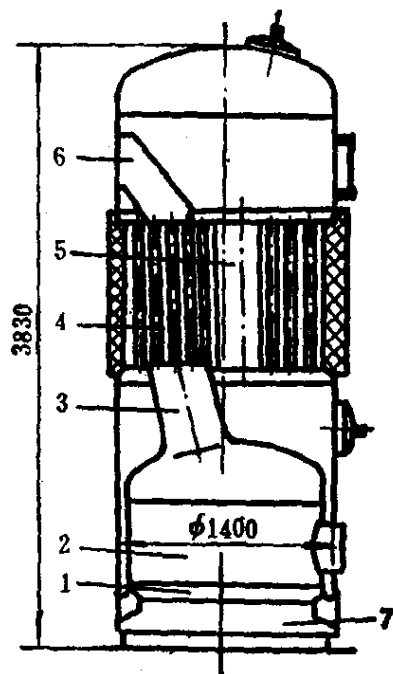


图 1—1 立式水管锅炉

- 1 —— 炉排； 2 —— 炉膛；
- 3 —— 下烟道； 4 —— 对流排管；
- 5 —— 下降管； 6 —— 上烟道；
- 7 —— 灰坑。

蒸汽锅炉，即蒸汽压力小于或等于25公斤力/厘米²的锅炉，和热水锅炉（多是低压的）。

图1—1为立式水管锅炉（LS型）简图。煤经炉门投到炉排1上，空气从炉排下部进入炉膛2内。在一定的温度条件下，煤在炉排上和炉膛里与空气中的氧作用，进行强烈燃烧，生成高温烟气。此烟气通过烟道3进入对流排管区。烟气绕排管4和下降管5回转一周后，再经过烟道6进入烟囱，离开锅炉本体。高温烟气通过炉膛四周的金属壁和对流排管时，把热量传给水，使水加热、蒸发，生成蒸汽，最后将汽送往用户。煤燃烧后形成的灰渣则落入下部的灰坑7内。

为了了解锅炉的工作原理，必须研究在锅炉中进行的三个过程：一是燃烧过程，研究煤是怎样在炉膛里进行燃烧和形成高温烟气的；二是传热过程，研究烟气的热量是怎样传递给水；三是汽化过程，研究水是怎样形成蒸汽和进行汽水分离的。这里主要讨论燃烧和传热过程及其强化方法，以达到节煤和消烟的目的。

第一节 燃 烧 过 程

锅炉中的燃烧是指燃料的可燃部分与氧发生强烈化合，并放出热量的过程。

煤的燃烧要经过不同的阶段，大致可分为：

一、预热和干燥

煤在炉膛里首先被加热升温，当温度超过100°C时，煤中水份大量蒸发而得到干燥。

二、挥发份析出（干馏）

当温度继续升高到一定数值后，煤开始分解，析出气态

物质，主要是甲烷（CH₄）、一氧化碳（CO）、氢气（H₂）和其它碳氢化合物，还有一些不可燃气体。析出的气态物质称为挥发份，剩余的固体残留物则称为焦碳。挥发份多的煤，碳化程度低，含焦碳量少，如泥煤、褐煤；挥发份少的煤，含碳多，如无烟煤。不同的煤开始析出挥发份的温度也不同，大致如表 1—1；

表 1—1

煤 种	褐 煤	烟 煤	贫 煤	无 烟 煤
可燃基挥发份含量（%）	>40	20~40	10~20	<10
开始析出挥发份温度（℃）	130~170	170~260	>350	380~400

三、可燃气体的着火和燃烧

当温度继续升高到燃料的燃点（着火温度），且空气供应充分并与挥发份混合良好时，可燃气体就开始燃烧。不同煤种着火温度是不同的，大致如表 1—2；

表 1—2

煤 种	泥 煤	褐 煤	烟 煤	无 烟 煤
着火温度（℃）	~250	300~400	400~500	~700

四、焦碳的燃烧和燃尽

焦碳是较难燃烧的，通常要在800° C 以上才开始强烈燃烧。焦碳的燃烧是从表面向内部逐渐深入的，从燃烧至燃尽需要相当长的时间。因此，这一阶段往往成为能否完全燃烧的关键。

分析燃烧过程可知，前二个阶段属于准备阶段。在此二

阶段中，燃料既不燃烧，也不放热，相反地却需要从后一阶段的燃烧来供热，其热源通常是靠高温烟气的对流放热，炽热煤层的接触导热以及火焰、炉墙和拱的辐射。而这就要靠足够的炉膛温度和设置必要的蓄热物体来实现。可燃气体和焦碳的燃烧，特别是焦碳的燃烧，会放出大量热量，但这需要合适的风量和足够的燃烧时间，才能使之充分燃尽。因此，概括起来，要使燃料充分地燃烧，有三个条件：

1. 足够的炉膛温度。

这是良好燃烧的首要条件。炉温高低对于煤的干燥、干馏和着火有直接影响。炉温高，干燥与干馏顺利，达到着火温度的时间也快，着火容易。炉温越高对着火越有利。

在旧式小型锅炉中，由于炉膛水冷度大，空气又不预热，漏入的冷风也多，如果煤质再不好，炉膛温度往往很低，有的甚至低于 900°C 。在这种情况下，是很难把煤烧着、烧透的。因此，对于灰份高、水份大、发热值低的劣质煤，适当提高炉膛温度更是必要的，它可以有利于煤炭燃烧、减少固体不完全燃烧损失。但是，过份地提高炉温是不必要的，因为温度提高到一定程度后，影响燃烧速度的因素已不是温度，而是空气供给速度了。再者，炉温过高，超过灰渣熔化温度后，会出现结渣（俗称结焦）现象，影响锅炉的正常运行。

总之，从燃烧的要求看，炉膛温度要足够高。对某些旧式锅炉，必须适当提高炉膛温度（例如提高到 1200°C 左右）。

2. 合适的空气量及与可燃物的良好混合。

供给适量的空气是燃烧必不可少的条件。一定量的煤完全燃烧时需要一定量的空气。理论上，一定量的煤完全燃烧所需要的空气量叫做理论空气需要量。考虑到混合不充分等

原因，实际供给的空气量总是要比理论空气量多一些，这样，燃烧才会完全一些，即固体和气体未完全燃烧损失少一些。但是，空气量多，烟气量也增多，排烟损失增大；且空气量过大，进入炉膛中的冷空气多，炉温降低，对燃烧也不利。因此，应有一个适当的空气量，这个空气量叫做实际空气需要量。实际空气需要量与理论空气需要量之比叫做空气过剩系数。经分析，对小型锅炉，空气过剩系数按表 1—3 选取是比较合适的：

表1—3

燃烧方式	手 烧 炉	链条炉、振动炉排、推动炉排炉	煤 粉 炉	沸 腾 炉
炉膛出口空气过剩系数	1.3~1.4	1.2~1.3	1.2~1.25	1.05~1.1

实际运行时，空气过剩量还可能超过上表数值。在空气过剩的条件下，把煤烧好的主要问题就在于如何使空气与可燃物及时接触和良好混合。如果达不到良好混合，再增大空气量也是无益的；如果能达到，则不仅不需要加大，反而可以适当减少空气过剩量，进一步提高经济性。

在人工投煤的手烧炉中，情况有些特殊——有时会出现空气不足。手烧炉是间歇投煤，在投煤后约三分之一的投煤间隔期内，挥发份大量析出、急剧燃烧，需要较多空气。但此时煤层较厚，通风阻力较大，进入炉内的空气量却比平均值要少，于是相对于大量的可燃气体来说就会出现空气不足，造成未完全燃烧损失较大。而燃烧一段时间后，煤层减薄，通风阻力减小，空气量自然增加。但此时已进入焦炭燃烧和燃尽阶段，需要的空气量已不那么多，于是在投煤间隔期的后三分之二时间内又出现空气过剩，特别是燃尽后期的大量空气过剩，造成排烟损失甚大，手烧炉的这种燃烧周期性使它

的效率明显降低。另外，前段时间内空气不足，碳氢化合物会在炉膛内发生热裂解，生成碳黑（烟炱），它是难于再烧掉的，就会出现烟囱冒黑烟的现象。为此，手烧炉的空气过剩系数要大些。

投煤少（每次投煤量）、勤（次数）、快（动作）是司炉人员减轻手烧炉燃烧周期性的成功经验。采用间断二次风是解决燃烧周期性的有效方法。所谓间断二次风即在投煤周期的前三分之一的时间内，以少量但高速的二次风吹入炉膛，可以补充此时的空气不足，而更重要的是加强空气与可燃物的混合；在后三分之二的时间内则停止供给二次风。为了不使空气过剩量增多，采用间断二次风时，应适当减少经常供给的一次风量。少、勤、快的操作方法要增加工人劳动强度；间断二次风要有一套自动控制设备。这些在一般锅炉房里，往往是做不到的。因此，手烧炉常常烧不好。

空气与可燃物的混合在很大程度上决定于风速。风速大、混合好，燃烧会加快。这对层燃炉中焦炭的燃烧尤为重要。在层燃炉中，空气主要是通过炉排供应的。当空气量一定时，炉排越大，风速越低。所以，炉排面积不宜过大。自然通风的小型锅炉，由于烟囱抽力有限，炉排面积不得不大一些，因为面积小时，煤层就会加厚，煤层厚，炉排阻力太大，通风不足，无法正常燃烧，影响锅炉出力。机械通风的锅炉，炉排面积可较小，以获到较大的风速。但炉排面积也不能太小，若面积太小，风速太大，不仅耗电增多，而且会吹走大量细煤末，加大固体未完全燃烧损失。对应于每1吨/时蒸发量的小型锅炉，炉排面积可取值如表1—4：

炉排面积还和燃料有关：烧劣质煤比烧好煤要稍大一些；烧细末多的煤比烧细末少的煤要稍大一些。

总之，从燃烧需要来看，实际空气量不是太少，而经常

是过剩。关键在于要使这些空气供应及时、混合充分。

表 1—4

燃 烧 设 备	手 烧 炉		链条炉、 振动炉排	往复推动 炉 排
	自然通风	机械通风		
炉排面积 (米 ²)	1.8~2.0	1.5~1.8	1.0~1.2	1.1~1.3

3. 足够的燃烧时间。

小型锅炉多数是层状燃烧，即煤直接在炉排上燃烧。即使如此，在燃烧过程中，煤也必定经过干馏阶段析出可燃气体，这些可燃气体却是在炉排上的空间内进行燃烧的；此外，总是有些细煤末会被风吹起，也要在炉排上的空间内燃烧。煤末越多、风速越大和扬煤（人工投煤或抛煤机加煤）时，飘扬在炉膛空间中的煤末也就越多。这些可燃气体和煤末在炉膛中一边随烟气流动，一边燃烧。如果炉膛容积太小，它们在炉膛内的逗留时间太短，来不及烧完就离开炉膛进入低温区，从而使气体和固体未完全燃烧损失加大。因此，为了保证充分的燃烧时间，就需要有足够的炉膛容积。此外，还有炉膛空间是否充分利用问题：如果流经炉膛的烟气不能充满炉膛，空间中有死区，即使炉膛容积较大，但未完全用上，燃烧时间也仍会不够。因此，在足够的炉膛容积条件下，在炉内设置适当的挡墙或拱，改变烟气流向，使之更好地充满炉膛，延长在炉内的停留时间，并加强气流扰动，会有利于燃烧。层状燃烧的小型锅炉，对应于每1吨/时（或60万千卡/时）蒸发量，炉膛容积约需 3~4米³。

考虑到燃烧需要足够的时间和空间，在上述需要的炉膛容积和炉排面积条件下即可求得锅炉需要的炉膛高度。

第二节 传 热 过 程

燃料在炉膛中燃烧形成 1000°C 以上的高温烟气（火焰），烟气的热量则通过锅炉的金属壁传递给水。这种将烟气中的热量传给水的过程叫做传热过程。传递热量的金属壁叫做受热面。了解传热过程对锅炉的设计、改装和运行十分必要。如果传热过程进行得不好，其结果是热量不能充分传递给水而随烟气排出，使排烟损失增加，浪费燃料，或者为了确保所需的传热量而不得不增大受热面，浪费钢材。传热不好（例如结垢很厚时）还会使金属壁温升高，受热面被烧坏，影响锅炉安全。

锅炉的传热过程是相当复杂的，但是不论多么复杂，热量的传递不外乎以下三种基本形式：

一、导 热

热量从物体的一部分传递到另一部分，或从一物体传递到与它接触的另一物体的过程叫做导热。例如，热量由受热面金属外壁传向内壁的过程。导热的特点是：传热的物质本身并没有移动。

锅炉运行时的金属表面并不洁净，烟气侧（外表面）有积灰，水侧（内表面）有水垢。因此，热量是经由外壁的积灰层、金属本身和内壁的水垢层传导过去的。

金属的导热能力很好，它的热阻可忽略不计。所以，受热面的壁厚对传热基本没有什么影响。

积灰层的导热能力很差，约为钢材导热能力的几百分之一。所以，受热面积灰是使烟气热量不能充分传递给水的主要原因之一。如果不及时吹灰会使锅炉出力降低、排烟温度升高、效率下降。积灰严重会导致受热面堵灰，影响烟气流

通，而不能维持锅炉正常运行。例如某台锅炉长期不吹灰，锅炉出力与效率都下降20%左右。因此，运行中应坚持经常的受热面吹灰、扫灰制度，以保证锅炉的出力和效率。

水垢的导热能力也较差，约为钢材导热能力的几十分之一。锅炉结垢不仅会使锅炉出力和效率降低（结垢1毫米约使锅炉效率降低3~5%），影响经济性，而且更主要的是影响锅炉安全。因为水垢是在水侧，由于水垢导热不良，热量不易传递给水，但水垢层外的金属壁却处于高温状态，易发生过热甚至爆管。所以，水垢的影响比积灰更值得注意。此外，锅炉结垢后，常会引起所谓垢下腐蚀，加速受热面的损坏；垢层太厚还会影响管内水的正常流动，破坏水循环引起事故。因此，加强锅炉水质监督定期清除水垢和运行中坚持排污制度，对强化传热和保证锅炉安全运行是很重要的。对采用小管径的水管锅炉，则应做到无垢或微垢运行，需要对锅炉补水进行炉外处理。

二、对 流

依靠液体或气体本身的流动来传递热量的过程叫做对流。锅炉受热面外侧由于受到流动的烟气冲刷，使热量从烟气传递到外壁，其内侧由于水（或蒸汽）的流动，使热量从内壁传递给水（或蒸汽）的过程都属于对流传热。

烟气侧放热的强弱主要与烟气速度有关，速度越大，冲刷管壁越强烈，对流放热也越强烈。因此，采用高的烟气流速可以强化传热、节省金属。但烟速高，通风阻力大，会受到锅炉抽力的限制，在自然通风情况下，烟速一般只能达到3~5米/秒。采用引风机实行强制通风，可使烟速大大提高。但也不能过高，若过高，一方面使引风机耗电过多，另一方面还会使受热面受到烟气中灰粒的强烈磨损，影响寿