

热水采暖系统设计节能措施 和管理科学化

王 焕 彩



中国建筑工业出版社

热水采暖系统设计节能措施 和管理科学化

王 焕 彩

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书系统阐述热水采暖设计中节能措施和管理科学化的有关问题,根据北京垂杨柳小区联片集中采暖锅炉房改建设计实例,提出热水采暖锅炉房系统的设计和计算方法;怎样合理选择炉型、炉排和配套辅机等,并介绍了有关基本知识和数据。根据试验和运行实践对室外管网的无沟敷设、采暖供回水温差的选取、锅炉水处理方式和联片供暖消烟除尘、节能成效等作了详细的论述。本书还介绍了锅炉安装和改炉节能措施。

本书可供从事动力设备设计人员和热能管理技术人员参考,也可作大专院校有关专业参考用书。

热水采暖系统设计节能措施 和管理科学化

王 焕 彩

*

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

北京顺义牛栏山一中印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 12 字数: 291千字

1992年5月第一版 1992年5月第一次印刷

印数: 7,600册 定价: 7.70元

ISBN7—112—01606—1/TU·1207

(6641)

目 录

第一章	煤的燃烧与设计、管理的关系	(1)
第一节	煤的成分与锅炉燃烧的关系	(1)
第二节	层燃采暖炉燃烧方式、过程和条件	(4)
第三节	层燃炉节约用煤、强化燃烧和提高效率的途径	(9)
第二章	热水采暖锅炉房的方案设计	(16)
第一节	原始资料的收集	(16)
第二节	锅炉容量、台数、炉型和炉排的确定	(17)
第三节	锅炉房的布置	(27)
第四节	新建垂杨柳联合锅炉房的布置和煤、渣场面积的核算	(31)
第三章	锅炉辅助设备系统的设计	(35)
第一节	上煤、除渣和吹灰系统的设计	(35)
第二节	锅炉房鼓、引风机系统的设计	(40)
第三节	除尘、沉灰系统的设计	(50)
第四节	烟风道和设计	(58)
第四章	热水采暖管网系统及其附属设备的设计	(62)
第一节	热水采暖管网经济管径的计算	(62)
第二节	系统的水力工况和水压图的绘制	(70)
第三节	采暖外管网节能、节资的无沟敷设	(73)
第四节	循环水泵和补给水泵的设计	(80)
第五节	膨胀水箱和除污器的设计	(88)
第六节	预防锅炉水汽化和网路发生水击现象的设计	(90)
第五章	热水采暖炉水处理系统的设计	(93)
第一节	水中杂质对锅炉的影响和热水锅炉水质标准	(93)
第二节	热水采暖炉水处理方式的选择	(95)
第三节	热水采暖炉除氧系统的设计	(107)
第四节	热水采暖系统的水质分析	(111)
第六章	采暖系统运行管理的科学化	(121)
第一节	概述	(121)
第二节	量化管理用微机监测系统的设计	(129)
第三节	二次仪表监测系统的设计	(133)
第四节	热水采暖系统定压自动补水和排气的设计	(138)
第七章	关于居民小区联片集中供暖锅炉房改建后消烟除尘和节能成效	(142)
第一节	概述	(142)
第二节	联片集中供暖在减少烟尘排放量和噪声源方面的效果	(143)
第三节	联片集中供暖在节能、节省人力方面的成效	(148)
第四节	联片集中供暖锅炉房的经济分析	(154)
第八章	锅炉安装和改炉节能措施	(158)

第一节 锅炉钢架的安装..... (158)

第二节 锅炉受热面的安装..... (163)

第三节 锅炉燃烧设备的安装..... (167)

第四节 水压试验、烘炉、煮炉和定压..... (170)

第五节 综合改炉与节约能源..... (174)

附 录 (182)

附录一 习用工程计量单位与法定计量单位换算关系..... (182)

附录二 采暖室外计算参数..... (182)

附录三 调压板选用图表..... (183)

附录四 温度单位换算表..... (184)

附录五 水在各种温度下的密度 (184)

附录六 阳离子交换剂特性..... (184)

参考文献 (186)

第一章 煤的燃烧与设计、管理的关系

第一节 煤的成分与锅炉燃烧的关系

我国燃料资源丰富，以煤尤甚。我国北方各省区都有煤矿，所以绝大部分采暖锅炉均以煤作燃料。但是，随着我国现代化事业的发展。各行业（包括冶金、发电、化工企业、交通运输及人民生活）对燃料的需求越来越多。因此，我们应该把好煤用在关键地方，在热水采暖炉中“要大力利用低质燃料，节约好煤”支援国家的工业建设。

要做好热水采暖锅炉房的节能设计和运行的管理科学化，就要掌握煤的主要性质，了解煤的使用价值，杂质对燃烧的关系，炉膛、炉排所适应的煤种等，选择合理的炉型和炉排及调节好煤的燃烧过程，达到节煤的目的。

采暖炉用煤的分析，主要包括测出煤的成分，提供挥发分、固定碳、水分、灰分、发热量的工业分析，以及测定灰熔点和粘结性等。一般锅炉用户要创造条件对用煤进行工业分析，其它象元素分析，灰熔点和粘结性的测定可送到专业单位进行。

一、挥发分

挥发分是指煤在850℃维持7min加热析出的低分子碳氢化合物，是以CO₂、H₂S和CO等为主体的气态物质。挥发分是煤的主要特征，对锅炉着火和燃烧有很大影响。

煤的挥发分含量及开始析出的温度 表 1-1

煤 种	挥发分(%)	挥发分开始析出温度 (℃)
无烟煤	≤10	380~400
贫 煤	10~20	370~390
烟 煤	20~40	170~320
褐 煤	40~60	130~170

挥发分很容易着火，所以挥发分高的煤很容易点燃，燃烧过程比较稳定，并且燃烧完全。根据煤中可燃质挥发分的多少可分为三大类，即无烟煤、烟煤和褐煤。

各种煤的挥发分含量及开始析出的温度见表1-1。

挥发分是气态可燃物，燃烧是在炉膛内进行的，因此炉膛应有足够的空间以保证挥发分完全燃烧。象以前使用的炉膛空间小，

水容量大的兰开夏和康尼许锅炉挥发分未燃尽，随烟排走造成冒黑烟和燃料的浪费。

在设计选炉时如果选择炉膛大，中间设有耐火隔墙并设有助燃拱的锅炉，由于空气和燃气能很好的混合则适宜选用挥发分含量高的煤。此外也应指出，挥发分高的煤发热量并不一定高，挥发分含量15~20%最为理想。

煤的着火温度和挥发分的关系：褐煤370℃；烟煤470~500℃；无烟煤有三种：阳泉无烟煤700℃，北京无烟煤800℃，福建无烟煤900℃。

二、固定碳

失去水分和挥发分后剩下的固态物质为焦炭，它是由固定碳和灰分组成的。固定碳比挥发分难以引燃和燃烧，当挥发分着火后发出热量也加热了焦炭，挥发分燃烧很快，就是说和氧化合得很快，因此当挥发分燃烧时，氧几乎全部消耗在挥发分上，扩散不到焦炭表

面上，焦炭只能被加热而不能燃烧。

焦炭燃烧时发出的热量象无烟煤占总热量的90%以上，就是挥发分多的煤焦炭燃烧发出的热量也占50%以上。

焦炭燃烧是固体（焦炭）和气体（氧气）的反应，而且是在固体表面进行的，反应速度很慢，因此焦炭燃烧要用很长的时间，如褐煤燃烧时，焦炭燃烧占燃烧时间90%以上，可见焦炭燃烧是煤燃烧的关键，设计时选用炉型和炉排要有利于焦炭的燃烧。

热水采暖炉运行时要使焦炭燃烧快与下面四个因素有关：

- 1. 温度高，反应速度高，燃烧快。
- 2. 空气足，空气流速高，扩散速度快，燃烧速度快。
- 3. 颗粒小有蜂窝孔与空气接触面积大燃烧速度快。
- 4. 拨火除壳、焦炭燃烧只能由外表开始，逐渐向里进行，在焦炭外面，由于燃烧，不可燃物质在焦炭外表形成灰壳，这个灰壳如不及时清除，必然影响空气向里扩散，可利用拨火清除灰壳，以加速焦炭的燃烧。熔点低的煤更应注意拨火，一般说来，固定碳含量高的煤相应地其发热量也比较高。

三、水分

水分是煤的主要杂质，对采暖炉运行过程中煤的燃烧和锅炉工作都起不良作用。水分不但不发热，在煤燃烧时还要吸热而汽化，所以水分多的煤难于着火。同时水分大，煤燃烧生成大量的蒸汽，不仅增加了烟气容积和引风机的电耗，也增加了排烟热损失。锅炉尾部受热面还易受腐蚀。

水分对煤的发热量影响表 表 1-2	
煤中所含的水分(%)	每kg煤的发热值(kJ/kg)
0	27842
10	24756
20	21562
30	18548
40	15533

水分大的煤容易 粘结在煤斗、输煤设备、粉碎设备上。在北方最冷季节时还会被冻结。

煤中水分有固有水分和表面水分，表面水分风干时即可除掉。固有水分被分子所吸附，风干不能除掉，必须加热才能蒸发(103~105℃)。煤中水分含量变化很大，表1-2列出煤中含有水分（从5~40%）对煤发热量的影响。

尽管煤中水分为有害杂质，但有时根据煤种和燃烧方式，煤在燃烧前适当掺水以强

化锅炉运行过程中煤的燃烧，并能减少烟气中的含尘初浓度。

四、灰分

灰分也是煤中的杂质。灰分多的煤不仅不易燃烧，而且易磨损锅炉受热面和引风机叶轮。当烟气流速不高时，飞灰沉积在锅炉受热面上影响传热，降低锅炉效率；飞灰排入大气污染环境，影响人民健康。煤燃烧后灰渣多，增加司炉工的工作强度，并降低煤的发热值，其发热值见表1-3。

煤灰中主要成分是SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃、CaO、MgO等物质。煤中灰分在燃烧后，一部分生成灰渣落入炉下；另一部分形成飞灰随烟气排到炉体外，被除尘器分离或沉降在水平烟道和烟囱底部。灰渣在温度低时是固态易于排除锅炉体外，当炉膛某处温度高，超过

灰渣的熔化温度时，灰渣熔化为液态，粘成大块，称为“结渣”（有人称这种现象为“结焦”那是不确切的）。

结渣对锅炉燃烧运行有以下影响：

- 1. 结渣能把固态碳包在其中使焦炭难以烧尽。
- 2. 结渣结在锅炉受热面上不仅影响传热，而且会加剧结渣现象，造成恶性循环。
- 3. 结渣结在层燃炉的炉排上（煤层中）对煤的燃烧影响很大。有时连成很大一片阻碍通风，使可燃物难于继续燃烧，影响锅炉的正常工作，甚至被迫停炉。

如烧不粘结煤时，焦炭呈粉状，使燃烧层密实，通风不良，有时局部变成火口把部分细屑吹走，增加飞灰未燃尽的损失，使燃烧运行也大为恶化。另外象手烧炉灰渣具有承托煤层燃烧和保护炉条不被燃坏的作用。

灰分对煤的发热值影响表 表 1-3

煤中灰分(%)	每公斤煤的热值(kJ/kg)
10	29810
14	28720
16	27809
18	27130
20	26251
22	25498
24	24953
26	24409

几种常用煤的灰渣变形温度 表 1-4

煤 种	变形温度 $t_1(^{\circ}\text{C})$	软化温度 $t_2(^{\circ}\text{C})$	熔化温度 $t_3(^{\circ}\text{C})$
阳泉(无烟煤)	1150	1200	1400
遵义(贫煤)	1140	1240	1270
大同(烟煤)	1120	1145	1260
阜新(烟煤)	1123	1161	1250

灰渣并不是从固态一下子就变液态的，而是随着炉膛温度的升高，先是变形，接着软化，最后是熔化。所以对不同的煤要测出它们灰渣的变形温度 t_1 ，软化温度 t_2 、熔化温度 t_3 。表1-4列出几种常用的煤种的灰渣变形温度 t_1 ，软化温度 t_2 和熔化温度 t_3 ，提供给设计和管理人员参考。

开滦、平顶山和鸡西的煤其灰熔点都很高，开滦煤灰渣的软化温度常超过1500℃。从表1-4可知阜新煤的灰熔点比较低。

含灰分多的煤，燃烧运行时须有良好的通风以助燃烧。如不增加风压，则灰分影响煤的燃烧又有结渣的可能。锅炉房设计时应在炉体适宜部位设置炉膛测温度装置。一般控制炉膛烟气出口温度比煤渣的软化温度低50~100℃，锅炉房在设计时为防止灰渣的结渣，在选择炉型时，应选用炉膛内设置有足够水冷壁受热面的锅炉。

从表1-2和1-3可以看出，煤中含有过多水分时，锅炉效率减低的比例较灰分更大。

五、硫

硫是可燃物质，也是一种有害的燃料成分。一般采暖供煤含硫量约占煤重0.5~2.5%。个别的煤种有时超出2.5%，硫在原煤中有三种形态：有机硫化物，硫的化合物，二硫化铁。二硫化铁遇热到500℃时分解为硫，并起三种不同的作用。

- 1. 有过量空气时，产生二氧化硫（遇水变成硫酸）。对锅炉尾部受热面起腐蚀作用，并污染大气。

- 2. 硫化铁和灰中的硅酸盐化合，放出硫黄，扩大熔渣。
- 3. 硫和碳化合生成有机硫化物。燃烧时有机硫化物产生二氧化硫（遇水变硫酸）。

六、发热量

在锅炉热力计算和运行管理中，必须了解锅炉燃煤的发热量大小，发热量是煤的重要特性指标。煤的发热值有高有低，从8373.6kJ/kg到33494kJ/kg。各地煤均不相同，使用价值也有差别，为了计算锅炉的煤耗，这里引入“标准煤”的概念。我国铁道部规定，每1kg煤发热量为29307.6kJ/kg，叫做1kg标准煤。我们设计采暖锅炉房时，取煤的发热值 $Q_{煤} = 20934\text{kJ/kg}$ 。

若将燃烧后的水蒸汽（包括煤中的所含水分及氢和空气中的氧化合所生成的水蒸汽）重新变成水，并且能得到所放出的热量，这样所量出的热叫做高位发热量（或叫做高位热值），当水蒸汽中汽化热，忽略不计时，则此发热量叫做低位发热量（或叫低位热值）。符号用 Q_{dw} 表示。在工程设计和运行中常用的是煤的低位发热量。现将较常用的计算低位热值公式写在下面。

低位热值 $Q_{dw} = 339C + 1030H - 109(O - S) - 25\text{kJ/kg}$ (1-1)

式中 C——代表煤里所含碳的百分数，%；
H——代表煤里所含氢的百分数，%；
O——代表煤里所含氧的百分数，%；
S——代表煤里所含硫的百分数，%；
W——代表煤里所含水分的百分数，%。

〔例〕 西山煤，其中含有碳83%，氢3.8%，氧1.44%，硫黄1.42%，水0.61%，试求此煤低位发热量为多少？

〔解〕 根据（1-1）式将上述所给数字一一代入：

则低位发热量 $Q_{dw} = 339 \times 83 + 1030 \times 3.8 - 109(1.44 - 1.42) - 25 \times 0.61$
 $= 28137 + 3914 - 2.18 - 15.25$
 $= 32033.57\text{kJ/kg}$

同样型号的锅炉，烧不同的煤种，在同样的时间内耗煤量不一样，不能简单地从耗煤量的多少来判断锅炉效率的高低。例如，两台锅炉型号相同，发热量相同（ $279 \times 10^4\text{W} = 4.0\text{t/h}$ ），供暖效果和参数均相同。甲炉每小时烧 $Q_{煤} = 25121\text{kJ/kg}$ 的煤0.7t。乙炉每小时烧 $Q_{煤} = 21352.7\text{kJ/kg}$ 的煤0.8t，究竟哪台炉节约燃料，可将各炉的耗煤量折合标准煤进行比较，即：

甲炉标准煤量为 $\frac{25121 \times 0.7}{29307.6} = 0.6\text{t/h}$
乙炉标准煤量为 $\frac{21352.7 \times 0.8}{29307.6} = 0.58\text{t/h}$
由此得出结论，乙炉比甲炉节约燃料。

第二节 层燃采暖炉燃烧方式、过程和条件

小型采暖锅炉多是烧煤的，燃烧方式大体可分为层燃、悬浮燃和沸腾燃三种。由于层

燃炉具有较好的着火条件——煤炭不需破碎加工，能适应各种不同煤炭的燃烧特点，而且锅炉房布置简单、耗电少、投资少、管理方便、排烟除尘好。采暖炉的负荷是根据室外温度的变化而变动的，所以炉子中所需燃烧的燃料量也是变动的。在层燃炉中，可用改变空气供应速度和送至炉排上的煤量来适应负荷的需要。采暖炉运行方式有连续和间歇两种，层燃炉对开开停停，间歇运行的系统尤其适用。故在采暖系统中层燃炉占重要地位，而且用得很广泛。

一、层燃炉的燃烧方式

层燃炉是最简单的锅炉燃烧设备，其特点是在炉膛下设置炉排（炉算），空气从炉排底下通过炉排间隙进入炉膛。煤不经过处理直接送到炉排上，空气和煤有较大的相对运动。这种炉子有一定厚度的较为稳定的燃烧层，所以称之为层燃炉。又因煤在炉膛内燃烧时构成火床，因此又称它为火床炉。层燃炉原理如图1-1所示。

燃料送到炉算上，形成燃料层，炉算上有孔缝隙使空气通过，大部分燃料在炉算上燃烧层中进行燃烧。部分细微煤粒和燃烧层中燃料放出的挥发分，以及焦炭燃烧时，周围所形成未燃完的可燃气体，将在燃料层上的炉膛空间进行燃烧。

按最常用的几种结构，可将层燃炉分为燃料层不动、燃料层在炉排上移动和燃料层与炉排一同移动三类。见图1-2。

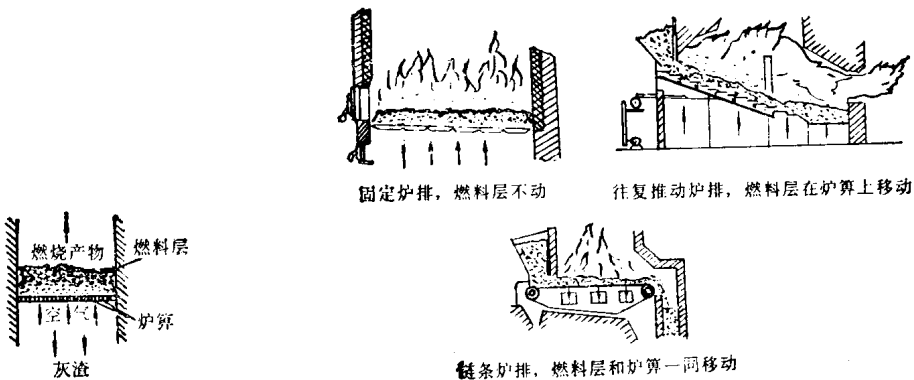


图 1-1 层燃原理

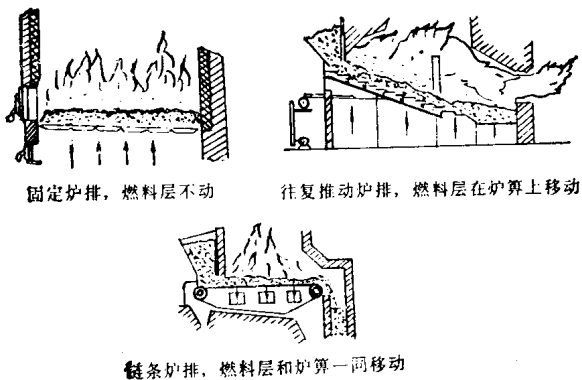


图 1-2 层燃炉分类

二、层燃炉煤的燃烧过程

煤的燃烧是复杂的物理—化学过程。我们以一个煤粒为例子进行研究，分析在不断提高炉膛温度时，煤逐步被干燥、干馏直到着火燃烧称为煤的四个燃烧过程。

1. 干燥：当炉膛温度使煤被加热超过100℃时，煤中的水分被蒸发出来，水蒸汽逸出，煤被干燥。

2. 干馏：当煤被干燥后，继续加热到温度高于130~400℃时，煤开始分解，析出挥发分，同时生成焦炭。一般情况下，含挥发分多的煤，逸出碳氢化合物也多。在较高温度缺氧时，易分解成固态的炭黑，即很小很轻的炭粒，也就是烟囱冒出的黑烟。干燥、干馏蒸发水分和逸出挥发分，同时生成焦炭的是燃烧前的预热准备阶段。

3. 挥发分着火燃烧：煤继续被加热，温度增高，析出挥发分增多。炉膛内可燃气体浓度增大，化学反应加快，可燃气体与氧剧烈反应，形成黄色明亮的火焰，同时放出热量，即挥发分着火了。

挥发分开始着火的温度，称之为煤的着火温度。前面已谈到，不同的煤种，着火温度是不同的。

4. 焦炭的燃烧：当挥发分基本烧完时，氧气才能扩散到焦炭表面上去，而且这时焦炭也被加热到一定程度。焦炭开始燃烧发出很短的蓝色火焰。

三、层燃炉内煤完全燃烧的条件

煤在炉膛内燃烧放热，不管采用哪种燃烧方式，都应将煤中的可燃质燃尽。如果在灰渣中仍有过多未烧尽的煤或烟气中含有过量的可燃气体时，就会造成煤的浪费。例如1kg碳和氧完全燃烧生成CO₂，可放出33494kJ的热量。当全部生成CO时，就只能放出9922.7kJ的热量。这样就有23571.68kJ的热量损失掉。一般优质煤含挥发分多，锅炉运行时，主要是挥发分的完全燃烧。劣质煤实际上是煤的着火和烧尽问题。要使煤在炉膛内燃烧好必须具备以下条件：

1. 一定的温度

前已谈到不管什么煤种必须达到一定的温度才能着火。可燃质和氧气进行剧烈反应而着火燃烧，温度越高，燃烧越剧烈。因此各种锅炉在炉膛内都应提供着火热。手烧固定炉排炉，原炉算上的燃烧层，对加入炉内的新煤进行加热并着火。链条炉和往复炉排炉是靠前拱和炉膛内烟气的辐射热对进入炉内的新煤预热和着火。一般层燃炉内温度为1100~1300℃，有利于煤的迅速燃烧。

炉温高，使炉膛内烟气向炉排上煤层辐射热量增大。根据公式 $E = 4.95 \left(\frac{T}{100} \right)^4$ ，

在相同炉排的面积上，900℃的炉温和1300℃的炉温相比较时，1300℃炉温辐射热量比900℃炉温辐射热量大3.2倍。

手烧炉的煤可以无限期的燃烧，但是操作开门次数多，渗入大量冷空气使炉温降低，对煤的燃烧不利。链条炉煤层是靠0.3m/h的速度由上往下传热进行燃烧，炉温更是重要。在相同炉温的情况下往复炉着火条件好于链条炉。

2. 一定的空气量

燃烧一定量的煤，就需要一定量的空气。如果空气不足，煤的燃烧就会不完全。

根据煤中碳、氢、硫可燃质成分和化学反应式计算出来的空气量，称为理论空气量。用V⁰表示，单位是m³_N/kg。一般煤炭燃烧的空气量在4~7m³_N/kg。实际上，由于供给煤燃烧的空气不可能同燃料充分均匀地混合起化学反应，总有一部分空气没有进行燃烧和烟气一道排到炉外。为使煤完全燃烧，供给炉内的空气量必须比理论空气量多一点。实际供给的空气量V与理论所需空气量V⁰的差，称为过剩空气。它们的比值称之为过剩空气系数，用符号a表示即

$$a = \frac{V}{V^0} \tag{1-2}$$

或 $V = aV^0 \quad \text{m}^3_{\text{N}}/\text{kg}$

一般小型燃煤锅炉炉膛出口的过剩空气系数应为1.3~1.5，对于负压炉和烧无烟煤炉a=1.3~1.6。负压炉过剩空气系数高的原因是由于炉墙和炉排的漏风，无烟煤炉燃烧需要较高的风压和风量，可使红炭粒在炉排上，上、下跳动强化燃烧。

过剩空气系数与炉子的密封性和运行调整的恰当与否有关。a偏小，煤燃烧不完全。

过剩空气系数 α 愈高，即进入炉膛的冷空气愈多，这部分过量的冷空气并不参与燃烧反应，最终以较高的温度从烟囱排出，增加了排烟热损失。因此，在保证尽可能完全燃烧的条件下，过剩空气系数 α 愈低愈好。

测量烟气中 CO_2 含量可间接测量出过剩空气系数。 CO_2 含量高，说明过剩空气系数小。一般 CO_2 含量在9~12%时， $\alpha=1.25\sim1.4$ 。

近来用烟气含氧量来控制空气量，这种办法使用时比较方便，而且也比较准确。

3. 煤与空气充分的混合

煤在燃烧过程中，仅仅保证空气量是不够的，还需要设法使空气和煤充分地接触和混合。

层燃炉的最大缺点在于它的燃烧过程本身存在着与促进燃烧相矛盾的缺陷。燃烧产物 CO_2 、 CO 、灰分等不能及时地离开燃煤块表面或焦炭表面，形成的保护膜和灰壳阻挡空气和煤内可燃质的接触，对煤燃烧过程的顺利进行是很不利的。灰壳阻挡空气和焦炭的接触影响燃烧更为严重。提高风速和勤拨火，以除去灰壳和保护膜，是层燃炉的强化燃烧的有力措施。

层燃炉拨火还有另外两个作用：一个是消除煤层厚薄和煤块大小不均的现象。手烧炉加煤不一定均匀，往复炉和链条炉块状煤容易积在煤斗两边，进炉后也多在炉排两侧。煤层薄和块大的地方容易通风，燃烧快并易结渣。反之，煤颗粒小、煤层厚、通风困难、燃烧也慢，利用拨火可免除上述缺陷。拨火另一个作用是能粉碎在燃烧过程中形成的大块灰渣。在锅炉运行时煤层中形成大的灰渣块后，阻碍通风，并影响焦炭的燃烧。因此，利用拨火粉碎灰渣有助于层燃炉中焦炭的燃烧。

4. 足够的燃烧时间

煤在燃烧时需要一定的空间和时间。如果这两个条件不能满足，煤就不能达到完全燃烧。

在层燃炉中，燃料大部分在炉排上燃烧。为保证锅炉的正常运行和燃烧时间，以达到要求的出力，必须有足够的炉排面积。

炉排面积同燃煤量，也就是锅炉热负荷有直接关系。为简化起见，假定煤燃烧的全部放热量都是在炉排上释放的，通常把相应于单位炉排面积在单位时间内燃料燃烧所放出的热量，称为炉排可见热强度 q_K ，即

$$q_K = \frac{BQ_{DW}}{R} \times 0.278 \text{ W/m}^2 \quad (1-3)$$

式中 B ——每小时加入炉内的燃料量， kg/h ；

Q_{DW} ——燃料的低位发热量， kJ/kg ；

R ——炉排有效面积， m^2 。

根据运行经验，对不同型式的炉排，在燃用某一种燃料时，各有一个合理的炉排可见热强度 q_K 。过分提高炉排热强度，缩小炉排面积，会使空气流速加快、燃烧时间缩短、未完全燃烧、损失增加；反过来，炉排热强度太低，炉排面积过大，虽增加了燃料的燃烧时间，但会使炉膛温度降低，也不利于煤的完全燃烧。这在锅炉房设计时要合理的选择。

同炉排热强度相当的另一特性是炉排的燃烧率，即在单位炉排面积上，单位时间内所燃烧的煤量。炉排热强度见表1-5。

层燃炉的炉排可见热强度 (1.163×10⁴W/m²)

表 1-5

炉 型	烟 煤		无 烟 煤	
	$Q_{DW} > 18841$	$Q_{DW} \leq 18841$	$Q_{DW} > 20934$	$Q_{DW} \leq 20934$
手烧炉	自然通风60~70			
	机械通风70~80			
链条炉	70~90	60~70	70~80	50~60
往复炉排炉	自然通风~60		—	
	机械通风~70			

为使燃料细屑和可燃气体能在烟气离开炉膛，同较冷的受热面积接触以前燃烧完全，就需有足够的炉膛容积和高度。相应于单位炉膛容积，在单位时间内燃烧燃料的放热量，称为炉膛容积热强度 q_v ，即

允许的炉膛容积热强度 表 1-6

炉 型	燃烧方式	允许的炉膛容积热强度 (1.163×10 ⁴ W/m ³)
圆型锅炉	手 烧	35~45
水管锅炉	手 烧	15~25
	层燃炉(未装水冷壁)	15~25
	层燃炉(装水冷壁)	25~45

$$q_v = \frac{BQ_{DW}}{V_L} \times 0.278 \text{ W/m}^3 \quad (1-4)$$

式中 V_L ——炉膛容积，m³。

炉膛容积热强度的大小，表明在每小时每立方米的炉膛容积中所能放出热量的多少。它不仅是表征悬浮燃烧、沸腾燃烧和气化燃烧设备工作特性的主要指标，就是在层燃炉中也必须保证有足够的炉膛容积。就目前使用的10t/h以下小容量层燃炉来说，炉

膛容积热强度大都偏高。炉膛容积热强度的数值见表1-6。

在采暖锅炉房设计时，根据燃烧方式，可按下式核算炉膛容积热强度和炉排可见热强度。

$$V_L = \frac{BQ_{DW}}{q_v} \times 0.278 \text{ m}^3 \quad (1-5)$$

$$R = \frac{BQ_{DW}}{q_R} \times 0.278 \text{ m}^2 \quad (1-6)$$

从公式 (1-5)中看出，炉膛容积热强度 q_v 选用得越大，相应的炉膛容积 V_L 就越小，即炉子紧凑。但是热强度的大小是有限制的。它直接影响到炉膛温度，燃料在炉内停留时间以及燃料和可燃气体与空气混合等。

当选用的锅炉，炉膛容积小时，则炉膛内烟气流速增高，停留时间缩短，容易使热烟气受到受热面的冷却，使烟气温度迅速降低而影响燃烧。因此，当选用的锅炉过分地提高炉膛容积强度，必然会引起化学不完全燃烧热损失和飞灰热损失的增加。但是当选用的锅炉其炉膛容积热强度过低时，又会使炉温过低，以致不能维持正常燃烧。

在小型热水采暖炉设计时，可用表1-7和一般层燃炉炉膛容积核算选用锅炉的炉排面积和炉膛容积。

每小时产1t蒸汽所需要的炉膛容积，一般层燃炉为3~4.0m³。

1t/h锅炉的炉排面积

表1-7

燃 烧 设 备	手 烧 炉		链 条 炉	往 复 炉 排 炉
	自然通风	机械通风		
炉排面积 (m ²)	1.8~2.2	1.5~1.8	0.9~1.0	1.1~1.3

第三节 层燃炉节约用煤、强化燃烧和提高效率的途径

炉内主要进行两个过程，一个是燃料的燃烧过程，一个是热量的传递过程。从节煤的角度来看，无非是要使锅炉内的燃烧过程和传热过程进行得更完善。锅炉结构和锅炉房设计以及运行操作应创造条件使燃料完全燃烧，从而放出最大的热量并强化传热，使燃料所转化的热量尽可能多地被锅炉水吸收而不致白白地从尾部烟道跑掉。

小型锅炉之所以效率低、浪费煤，是因为它在运行中存在着比较大的机械不完全燃烧热损失、排烟热损失、化学不完全燃烧热损失和灰渣热损失。其中机械不完全燃烧热损失（5~15%）和排烟热损失（6~20%）是主要的两项热损失。机械不完全燃烧热损失主要取决于灰渣含碳量和飞灰含碳量的大小。排烟损失主要取决于排烟温度和空气过剩系数 α 的大小。

要提高效率，节约用煤，主要是降低前述两项热损失。具体地说，就是合理运行操作，强化燃烧和加强管理。

一、合理的运行操作

小型锅炉（特别是手烧炉）合理的运行操作，是降低各项损失的有效措施。

1. 手烧炉：手烧炉适用于0.5t/h的锅炉，手烧炉煤的燃烧过程是有周期性的，燃料间断地投入炉内，因此燃料层的厚度也在周期性变化着。刚投入燃料时，煤层较厚，通风阻力大，从炉算下吸入的空气量较少，但这时燃料的挥发分和煤炭却需要大量空气进行燃烧，这就会出现空气量不足的现象，结果，烟囱冒黑烟（冒黑烟的另一个原因是投入新煤时，煤中所含的细煤粉飞扬起来，随同烟气一起排入大气）。随着煤的不断燃烧，煤层变薄，空气的供应量随着煤层阻力减少而增加。但此时煤燃烧所需要空气量逐渐减少，因而出现空气过剩现象。燃烧过程中，当挥发分和可燃气体大量放出进入燃烧阶段时，供给空气量不足，燃烧不完全，机械不完全燃烧损失和化学不完全燃烧损失将增加。而燃烧的后阶段空气过剩，排烟损失增加。这种燃烧周期是手烧炉的一个严重缺陷。当用挥发分多的煤时，这种现象更为突出。为缓和这种现象，在运行时操作上要做到：一稳定、二勤、三快。

（1）稳定：燃烧稳定——燃烧稳定与煤质煤粒大小、煤中水分多少，风的调节，燃烧调整等有关。操作管理人员应及时了解煤质情况，风力大小调整适当，煤层厚薄适当，拨火、投煤适当，燃烧就能稳定。

（2）二勤

①勤观察 观察采暖热负荷的变化，循环水和燃烧情况。

②勤投煤 每次投煤相隔时间不宜过长，如果时间太长，炉排上煤被烧光后，就必须添很多煤，这样会压住火床，使风供不上。火着不起来，满足不了供暖需要。所以要勤投煤，这样燃烧才能稳定，烟囱也能少冒黑烟。

(3) 三快

①投煤快 投煤不但要勤，而且动作要快。如果投煤不快，大量空气进入炉膛，降低炉膛温度，而投煤后火又不能很快着起来，锅炉供热必然不稳定。

②清炉快 清炉次数不宜太多，但也不能过少。如果燃烧时间较长而不清炉，煤层下灰渣结得太厚，空气不能通过灰渣层，煤得不到充分的空气，燃烧不好。清炉方法有前后清炉法和左右清炉法两种。炉排窄而长的，采用前后清炉法，锅排宽而短的，采用左右清炉法。每次清炉动作要快，如果清炉动作慢，一是炉排和炉门漏进冷风，二是炉排上着火少，循环水温下降，炉膛温度降低过大。

③调整快 调整燃烧，调整负荷等，动作要快。

2. 链条炉：链条炉适用于2~20t/h的锅炉。链条炉在层燃炉中，用得比较广泛，也受欢迎。它的主要优点是：燃烧、除灰进一步实现机械化；链条炉采用分段送风，送风控制合理，即保证燃烧所需空气量，又能减少炉膛漏进冷风；它的前后拱形状和长度随煤种改变，对煤种适应性较强。

链条炉要达到完全经济燃烧，主要是调整炉内燃烧。

炉内燃烧调整分为以下几个方面：

(1) 煤层调整：煤层调整是通过炉排前煤闸板来实现的。当锅炉供暖负荷增加时，应先加大引风，后加大送风，再抬高煤闸板加厚煤层。当锅炉负荷减小时，先降下煤闸挡板使煤层减薄，后减少送风及引风。但是，在实际操作中，除非供暖负荷增减较大，一般对煤层厚度很少调整。

煤层厚度的调整，应根据燃料种类确定，见表1-8。

链条炉排煤层厚度与燃料性质的关系 表 1-8

煤 质	煤层厚度(mm)	炉排速度	送 风 量
粘性烟煤（灰分低、水分少、块末均）	60~120	快速度	风量较小
中粘性烟煤（灰分大、水分大、末较多）	80~140	快速度	风量较大
无烟煤和贫煤（灰分大、水分大、末多、着火点高）	100~160	慢速度	风量大

(2) 炉排速度调整：链条炉排速度调整范围很大，一般最少有两级速度，最多有16级速度。在这些速度范围内，根据负荷、燃料、通风和煤层情况可任意进行调整。

煤层厚度确定后，供暖负荷主要依靠炉排速度的改变和通风量的大小来调整。负荷加大时，先把炉排速度加快，使进入炉内的煤量增加。由于链条炉排和燃料一同向前移动，没有相对位移，过大的炉排速度有可能将未完全燃烧的煤推向炉排后部，所以在提高炉排速度之前，必须增加引、送风量，使着火、燃烧和燃尽阶段基本上保持原来位置。相反，在炉排速度减慢之前，应减小送、引风，否则燃尽阶段过长，小灰渣层中漏进大量冷空气，降低炉膛温度。

(3) 送风量的调整：链条炉排是分段送风，链条炉排上煤燃烧是随着炉排的运动分段进行，因此，在各燃烧阶段需要的空气量是不相同的，这就要求分段送风的风量满足煤燃烧的需要。

第一阶段：煤刚进入炉膛先蒸发水分，煤的温度提高后析出挥发分。煤的温度达到着火点后，开始着火燃烧。当煤的挥发分含量较多时，可加速煤的着火燃烧，所以烟煤的着火点都是前移。着火速度与煤中的挥发分多少有关外，还有煤中水分、前拱形状和长后拱等有关。一般煤进入炉排0.4m之前，必须着火燃烧。在着火阶段，送风量不能过大，对提高煤本身温度不利。送风量过小，煤燃烧缺氧时，易分解成固态的炭黑，使烟囱冒黑烟。

第二阶段：煤燃烧阶段（焦炭燃烧阶段），是整个炉排上燃烧最强烈的阶段，这个阶段煤将基本燃烧完全。这个阶段所需要的空气量和风压最大，所需空气量约占总风量的80%左右。一般应将本阶段上所有风闸挡板全部开启，才能满足煤燃烧需要的空气量。

第三阶段：煤的燃尽阶段，在这个阶段炉排上的煤只剩下少许炭核尚需进一步燃尽，这个阶段离炉后老鹰铁和灰挡板约0.5m左右。这个阶段上所需要的空气量很少，约为总风量的5~10%。风量过大将使大量冷空气进入炉膛，对炉内燃烧造成不良后果。

烟煤着火快，送风高峰将后移；相反，无烟煤和贫煤着火慢，送风高峰将向前移。当前拱形状和煤层厚度已定，烧烟煤时，可将送风闸板拨开度后移，使着火延迟。相反，烧无烟煤时，可将开度前移，以利于提前着火。

正确掌握链条炉排燃烧规律，合理分段送风，是采暖锅炉经济燃烧节约用煤的关键。

3. 往复炉排炉：往复炉排适用于1.0~10t/h的锅炉。由于往复炉结构简单、制做方便、节约金属、可烧次煤，且排烟除尘效果好，因而受到用户的欢迎。

往复炉排炉，燃料层在炉排上移动。煤的燃烧过程同链条炉一样，具有阶段性。煤在倾斜的炉排上经干燥、干馏、挥发分着火、焦炭燃烧和燃尽等阶段。

往复炉排传动装置，通过变速可以得到四种转速，往复炉排行程的调节可达到五种。

煤层厚度用煤闸板控制，一般采用100~140mm。对于挥发分含量少、水分多、难着火的煤要保持较厚的煤层，推煤速度减慢。对于多灰分易结渣的煤应保持薄煤层，适当增加推煤次数或加大往复行程以便增加拨火作用。往复炉排煤的燃烧过程好于链条炉。

二、煤的强化燃烧

1. 燃煤掺水

水分对煤的着火和燃烧有利也有弊，其害处前面已谈过，现在谈谈煤加水有利于燃烧的作用。

手烧炉、往复炉、链条炉当烧细粉多、不结渣的煤时，往往在煤进入锅炉前适当加水，并搅拌均匀，利用掺水后的物理—化学反应，得到加强燃烧、完全燃烧和节约用煤的目的。煤中掺水的好处如下。

(1) 调整煤层阻力，煤刚送进炉膛时，阻力较小，但煤燃烧后，由于煤块的破碎和焦性物质的流出，使煤粘接在一起而增加煤层的阻力。如果在煤中加水，可以增加煤层的初期阻力，减少穿过煤层的空气。当煤着火后，由于水分的蒸发，可增加煤层孔隙，减少煤层阻力，便于空气透过煤层，促进煤的燃烧。另外水蒸发留下的煤间孔隙，使煤和空气接触，面积增加，可加强煤和风的混合，使燃烧完全。

(2) 调节煤的结渣现象：对于不结渣或结渣性差的煤，掺水后可以使煤粘在一起，增加其粘结性，阻止空气在着火前漏过煤层。相反，对于结渣性强的煤，掺水后延缓煤的

煤中掺水量参考表 表1-9	
煤中小于3mm的细粉含量、(%)	建议掺水量(%)
20~40	5~7.5
80	12.5

着火时间，煤中焦性物质有时间挥发燃烧，可减少焦性物质流出把煤粘在一起，减轻结渣现象。

(3) 提高锅炉效率：煤适当掺水后，可使碎屑和煤块粘在一起，减少燃烧过程中漏煤和飞灰损失，提高锅炉效率，节约用煤。

煤中掺水的多少应根据煤的粒度组成来定。细粉越多，加水量就增加。推荐掺水量如表1-9。

煤中掺水要适宜不能过多。当煤掺水后用手抓起来再松开，如果煤仍是一团，说明水掺多了，如果煤只裂开几条缝，说明掺水合适。

2. 增加二次风

为降低手烧炉燃烧过程周期性所造成的热损失，采用间断二次风是有效的。所谓间断二次风，就是在刚投煤需要大量空气时，向炉膛空间喷入一定量的空气（即二次风），这样挥发分 and 可燃气体等就可燃烧，等它们燃烧完，二次风自动关闭，以免降低炉膛温度和增大过剩空气系数。

链条炉和往复炉，尽管采取分段送风和分区调节的措施，但火床上的燃烧空间，仍存在着前、后部空气过剩；中间可燃气体和不完全燃烧产物多，空气不足等现象。为此，往炉膛内增加二次风并和拱结合，使燃烧完全，以节约燃料。

层燃炉一次风从炉排底下进入炉膛的作用，一是使空气和炉排上的煤层强烈混合进行燃烧；二是起到冷却炉排的作用。

(1) 层燃炉二次风的作用：首先在炉膛内造成强烈的燃气旋涡，促使气流紊乱，使可燃气体、细颗粒燃料与空气得以良好混合；其次延长燃气在炉膛中的流程和增加其在炉膛内的充满程度，使可燃物在炉膛内有较长时间的停留，得以充分燃烧，减少不完全燃烧热损失；再次减少排管和尾部烟道受热面的磨损和堵灰。尤其在小颗粒含量较多时，使用二次风后由于旋涡作用，而使燃气中夹带的较大颗粒飞灰沉落在炉排上，因而减少了受热面的磨损、堵灰和由烟囱排出的飞灰量；第四，当使用空气作为二次风时，二次风还能起到补充燃料所需氧气的作用。

(2) 二次风的主要参数：风压、风速和风量。

二次风的风压高于一次风的风压，约为2000~4000Pa。为了获得以上风压，一般都装设专门的二次风机。

二次风的风速（指二次风喷嘴出口处的速度）宜在50~70m/s范围内，其射程可以取1.5~2.5m。由于二次风受到炉膛内负压的影响，有向炉膛上部弯曲的趋势。故风速不能太低。

在层燃炉中，二次风主要起搅动作用，故风量一般约占煤燃烧全部空气需要量的5~10%。对于挥发分较多的燃料，二次风量可稍多，一般无烟煤和贫煤为5%左右，烟煤为7~8%，褐煤为10%左右。