

高等学校教学用书

锅炉设备

卷一 第二分册

苏联 Ф.Д. 杜貝宁等著

水利电力出版社

高等学校教学用书

鍋 炉 設 备

卷一 第二分册

苏联 Φ . Д. 杜貝宁 A. И. 克里林 Ю. М. 科斯特里金 著
B. П. 罗瑪金 Э. И. 罗 姆 Т. Т. 烏 西 科
徐 东 流 译

苏联人民教育委员会全苏高等教育事业委员会批准作为高等工业学校教科书



水利电力出版社

內 容 提 要

原书是苏联的一本权威著作，曾經苏联人民教育委员会全苏高等教育事业委员会批准作为高等工业学校教科书。

原书分卷一、卷二两册，卷一又分第一、第二两篇。卷一譯本分两册出版：第一分册已于今年5月由我社出版；本书为第二分册，系根据卷一第二篇譯出，其中詳尽地討論了各种炉子的燃燒过程、結構及其特性；煤粉的制备过程，以及各种碎煤、磨煤設備等。

卷二譯本已由龙門书局分三册出版。

本书可供高等学校热能动力装置专业的师生及有关本专业的工程技术人员和研究人员参考。

Ф.Д.ДУБЫНИН А.И.КАРЕЛИН Ю.М.КОСТРИКИН В.П.РОМАДИН
Э.И.РОММ Т.Т.УСЕНКО

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ ЛЕНИНГРАД 1941

鍋 炉 設 备

卷一 第二分册

根据苏联国立动力出版社1941年列宁格勒版翻譯

徐 东 流譯

*

2179R 179

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里沟）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

787×1092 $\frac{1}{16}$ 开本*10 $\frac{3}{4}$ 印張*222千字*定价(第10类)1.50元

1960年2月北京第1版

1960年2月北京第1次印刷(0001—3,470册)

目 录

第二篇 燃 烧 装 置

第一章 炉子特性和燃烧过程。燃料层固定的炉子	2
37. 燃烧装置的型式及其一般特性	2
38. 锅炉炉子中燃烧过程的一般特性	4
39. 炉排上燃料层的工作	7
40. 燃料层的厚度和阻力。空气的加入	10
41. 炉排固定的炉子。炉中的燃烧过程	15
42. 炉排固定的炉子的结构和运行中燃烧过程的调节	18
第二章 燃料层移动的炉子	24
43. 半机械化炉子	24
44. 鏈式炉排。鏈式炉中的燃烧过程以及炉子的一般工作特性	30
45. 鏈式炉排工作的调节。炉排的结构零件	33
46. 推动燃料的炉排	48
47. 燃用苏联燃料的各种层式炉的选择	56
第三章 粉状燃料燃烧前的制备	60
48. 粉状燃烧的意义。燃料的初步破碎	60
49. 煤粉的性質和特点	66
50. 燃料的磨粉设备	70
51. 滾筒式球磨机的計算原理及其工作特性	77
52. 煤粉制备系統	79
53. 湿燃料的煤粉制备。煤粉制备系統的耐爆性	86
54. 煤粉的送入炉膛	89
55. 煤粉制备系統的热力計算基础	92
第四章 煤粉炉子的燃烧过程、工作及其零件	96
56. 煤粉炉子的燃烧过程	96
57. 煤粉炉子的工作特性	102
58. 煤粉噴燃器及其工作	109
59. 煤粉噴燃器的型式	111
60. 煤粉炉的型式。炉子的水冷壁	120
第五章 固体燃料火室燃烧的其他方法, 液体和气体燃料的燃烧	130
61. 液态排渣炉	130
62. 具有簡化了煤粉制备的炉子結構。鏈切泥煤的燃烧	137
63. 頁岩的燃烧。悬浮燃烧	144
64. 液体燃料的燃烧	147
65. 气体燃料的燃烧。高炉煤气在煤粉炉中的燃烧	155

第二篇 燃 燒 装 置

第一章 炉子特性和燃烧过程。燃料层固定的炉子

37. 燃燒裝置的型式及其一般特性

在鍋炉設備中采用各种各样的炉子，这些炉子，随着所燃燒燃料的不同而异。炉子的构造在很大程度上取决于燃料的物理状态（块状、粉状、液态及气态），发热量，块度，湿度，可燃质的含量，燒結性，灰分，渣的特性等等。現有两种主要的燃料燃燒方法：层式燃燒（或称火床燃燒）和火室燃燒（或称火炬燃燒）。

在燃料层和受热面之間的炉子容积，叫做层式炉的炉膛或燃燒室。从燃料层中逸出的可燃气体和燃料細粒就在其中进行燃燒。在炉排下面的容积叫做灰坑。

在火室炉中燃用气体燃料、液体燃料、人工制备的煤粉（顆粒在 200 公忽以下），也有燃用細碎燃料、鑿切泥煤及木屑的。燃料成悬浮状态在火炬中进行燃燒，火炬分布在燃燒室或炉膛中。

液体燃料在燃燒之前，先分成細滴（噴霧），其粒度大致与煤粉相同。噴霧可在蒸汽流或壓縮空气流动能的作用下或借助机械方法来实现。因此噴霧是通过蒸汽噴霧器、空气噴霧器或机械噴霧器实现的。对于机械噴霧器来说，燃料流在压力下送入，依靠压力来实现噴霧。煤粉和气体燃料是經過煤粉噴燃器和气体噴燃器送入炉膛的。

在火室燃燒的情形下，同燃料一起噴入炉膛的空气，叫做一次空气。不和燃料一起噴入的空气，叫做二次空气。在层式燃燒的情况下，經過燃料层送入的空气叫做一次空气，直接送入炉膛的空气叫做二次空气。炉排、燃料层、噴燃器、空气箱、空气管道和烟气管道中的擋板装置等的阻力，依靠通风装置来克服，通风装置在炉膛里造成負压，或者使炉排下的空气带有压力（在层式炉中）或使噴燃器前的空气带有压力（在火炬炉中）。

燃燒裝置的型式可分为以下几类（图79）：

I. 层式燃燒用的炉子

1. 燃料层固定的炉子：

a) 人工投煤的平炉排；б) 机械投煤的平炉排（设在燃料层上面）。

2. 燃料层移动的炉子：

A. 燃料层沿固定炉排在重力的作用下移动（半机械化炉子）：a) 傾斜式和阶梯式炉排；б) 豎井炉子。

B. 燃料层随同炉排一起强制移动（燃料层对炉排来讲并没有相对运动）：鏈式炉排。

B. 燃料层沿炉排在机械作用下强制移动：a) 炉条搖动的炉排；б) 傾斜推动式炉排；

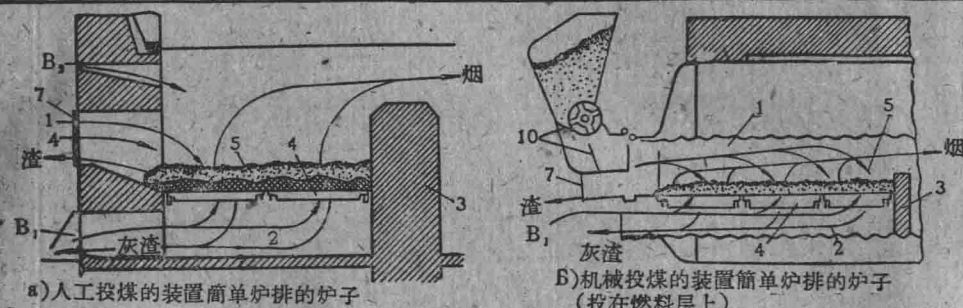
в) 燃料从下面加入的炉排（下飼式炉排）；г) 分級式炉排。

II. 火 室 炉

1. 燃用粉状固体燃料的炉子：a) 单室煤粉炉；б) 液态排渣的双室煤粉炉。

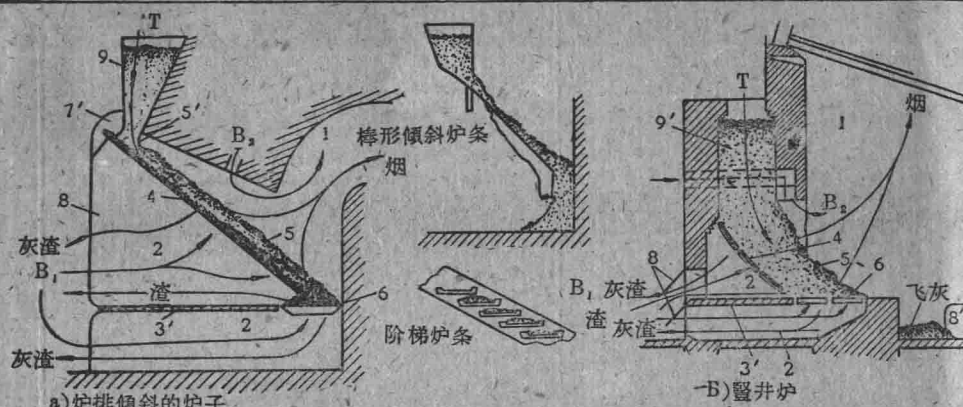
I. 层式炉

1. 燃料层固定的炉子

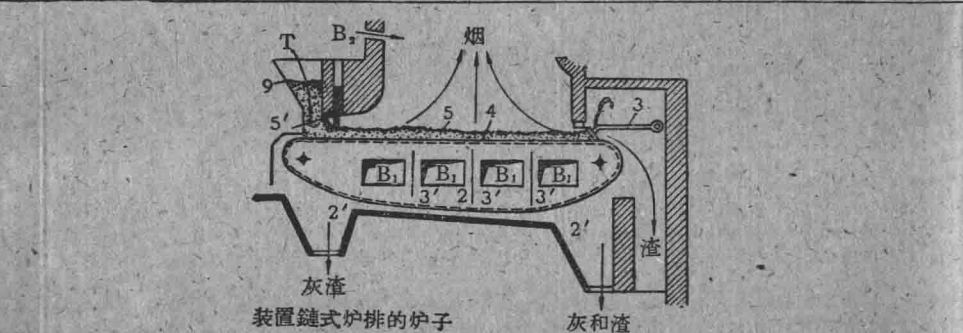


2. 燃料层移动的炉子

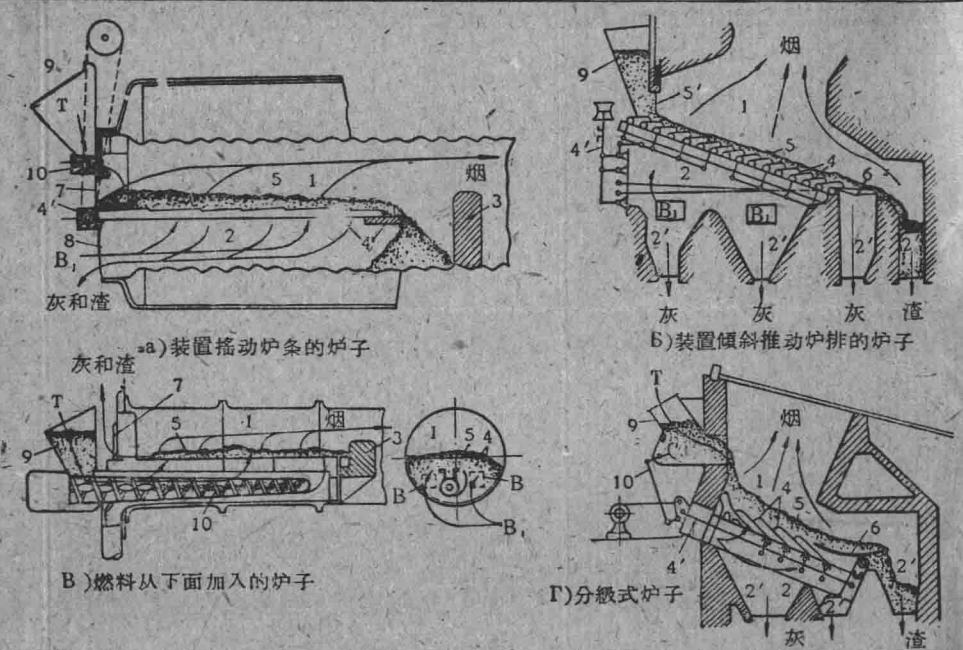
2-A. 燃料层沿炉排在重力作用下移动的炉子



2-B. 燃料层随同炉排一起强制移动的炉子

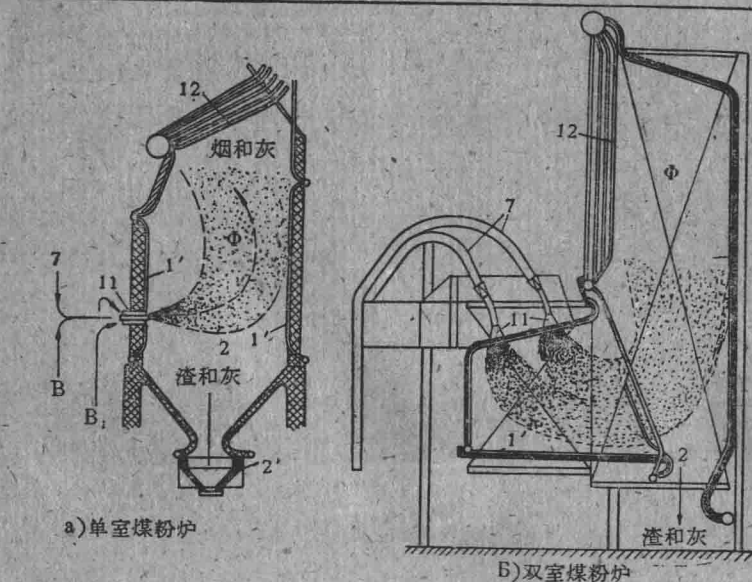


2-B. 燃料沿燃料层相对炉排强制移动的炉子

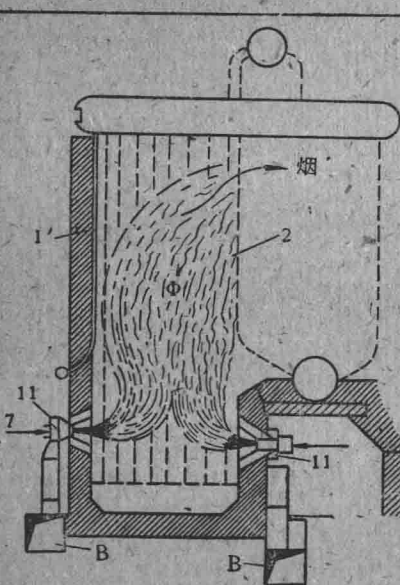


II. 火室炉

1. 燃用粉状固体燃料的炉子



2. 燃用液体燃料的炉子



3. 煤气炉

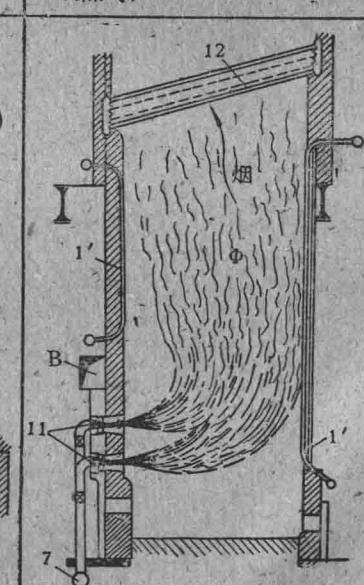


图 79 各式炉子的示意图

1—炉膛; 1'—水冷壁; 2—灰坑; 2'—灰斗(或渣斗); 3—阻壁; 3'—将灰坑分成若干区室的分隔壁; 4—炉排; 4'—炉条运动机构; 5—燃料层; 5'—调节燃料层的闸门; 6—渣炉排; 7—炉门; 7'—摆动燃料层的门; 8—灰门; 8'—飞灰排除门; 9—加料斗; 9'—燃料干燥竖井; 10—燃料送进机构; 11—喷燃器(或喷嘴); 12—锅炉第一对流管束; T—燃料路线; B₁—一次空气; B₂—二次空气; Φ—火炬。

2. 燃用液体燃料的炉子。
3. 燃用气体燃料的炉子。

III. 火室层式炉和混合式炉

1. 附带炉排的火室炉(燃烧锤切泥煤), 旋风炉, 豎井磨煤炉。
2. 燃烧屑末在炉膛里补充燃烧的层式炉。
3. 不稳定层式燃烧的炉子(悬浮燃烧)。
4. 燃料掺杂燃烧的炉子——燃烧高炉煤气和煤粉, 以及其他组合。

在小型和中型旧式锅炉中, 按照炉子在锅炉机组中的地位, 分成内部炉、底下炉及外部炉三类。内部炉用于火管锅炉、蒸汽机车的锅炉及其他锅炉等, 放置在火管或火室中。底下炉普遍用于各种型式的锅炉机组。外部炉通常放置在锅炉的前面, 有单独的炉墙。这种炉子用于小型锅炉, 多半燃用劣质燃料, 借以增大锅炉的容量。

现代的炉子与锅炉机组本体有机地结合在一起, 因而难以按照炉子相对锅炉的位置来分类。

炉子的大小采用以下几个特性来说明: 热容量, 炉排有效部分的面积(对层式炉而言)及炉膛的容积。

燃烧装置的容量用每小时其中放出的热量来表示: Q 大卡/小时 = BQ_p^* 大卡/小时, 或用每小时其中燃烧的燃料量来表示: B 公斤/小时。后一种确定容量的方法较简单, 但由于 Q_p^* 大卡/公斤的变动, 因而较为不定。

层式炉的大小也常用炉排有效部分的面积 R (公尺²) 来说明, 炉排的有效部分就是指炉排上分布着燃烧面的那一部分。

燃烧面就是炉排上的燃料层处在炉膛里的那一部分表面(参见图79)。当炉排面积与燃烧面的面积 $F_{s.z}$ (公尺²) 相差很大时, 炉子的大小就用燃烧面来表示。

层式炉的工作强度, 用以下两个特性量来说明: 炉排或燃烧面的视在热强度和炉膛容积的视在热强度。

炉排或燃烧面的视在热强度就是炉中单位炉排或燃烧面面积上每小时放出的热量:

$$\frac{Q}{R} = \frac{Q_p^* B}{R} \text{大卡/公尺}^2 \cdot \text{小时}$$

$$\text{或} \quad \frac{Q}{F_{s.z}} \text{大卡/公尺}^2 \cdot \text{小时} = \frac{Q_p^* B}{F_{s.z}} \text{大卡/公尺}^2 \cdot \text{小时}. \quad (417)$$

炉膛容积的视在热强度就是炉中单位炉膛容积里每小时放出的热量:

$$\frac{Q}{V_m} = \frac{Q_p^* B}{V_m} \text{大卡/公尺}^3 \cdot \text{小时}. \quad (418)$$

在容量 $Q = BQ_p^*$ 大卡/小时的层式炉中, Q 的一部分热量是在燃料层中放出的, 另一部分热量是在炉膛里放出的。从燃料中分解出来的可燃挥发分愈多, 以及从燃料层进入炉膛的屑末和不完全燃烧产物愈多, 则 Q 在炉膛里放出的一部分热量就愈大。在这种情形下炉排和炉膛的实际热强度是:

$$\frac{Q_c}{R} \text{大卡/公尺}^2 \cdot \text{小时} \text{ 和 } \frac{Q_k}{V_m} \text{大卡/公尺}^3 \cdot \text{小时},$$

式中 Q_k 和 Q_c ——在炉膛里和燃料层中放出的热量, 并且 $Q_k + Q_c = Q$ 。因为实际上没

有一种方法可用来把 Q 划分成 Q_k 和 Q_c ，所以对于层式炉取用視在热强度 $\frac{Q}{R}$ (大卡/公尺²·小时) 和 $\frac{Q}{V_m}$ (大卡/公尺³·小时) 这两个条件量。火室炉的工作强度用炉膛热强度 $\frac{Q}{V_m}$ 来評定。

按照单位時間內炉中放出的热量而分，有小容量、中容量及大容量三种炉子。

属于**小型层式炉**的是热容量小于 4×10^6 大卡/小时的固定炉排。这种炉子的撥火(翻动和撥平燃料层)和排灰都不是机械化的。加煤通常用人工进行，有时也有用机械进行的(利用專門的投煤机)。傾斜式炉子、豎井炉及其他半机械化炉子常常也用于上述的热容量。

属于**中型层式炉**的是热容量小于 20×10^6 大卡/小时的炉子。这种設備采用半机械化和完全机械化的炉子。

属于**大型层式炉**的是热容量小于 150×10^6 大卡/小时的机組。这种炉子都是机械化的(鏈式炉排，下飼式炉子等等)。

火室炉可适用于任意大小的鍋炉机組，但一般用在中容量和大容量的鍋炉机組中，供燃燒粉状固体燃料之用。

苏联动力設備主要利用当地燃料以及采煤和选煤工业的殘余产品。因此，除了由于普遍采用中容量和大容量鍋炉以外，还由于上述情况而大大发展了燃用粉状燃料。在苏联，机械化炉子采用較少，因其通用性較差。在燃用泥煤方面很成功地利用了机械化炉子。

在小容量鍋炉設備中，主要采用层式燃燒方法。燃用固体燃料的小容量火室炉在苏联很少見到。液体和气体燃料都在火室炉中燃燒。

38. 鍋炉炉子中燃燒过程的一般特性

在每个炉子里，加入其中的燃料在温度升高的过程中要經過下列几个阶段：

預热；

干燥；

分解成揮发性的可燃气体和焦炭；

着火；

可燃气体完全燃燒(成为 CO_2 ， H_2O 及 SO_2) 或不完全燃燒，以及在炉膛里进行热解轉变^①：焦炭完全燃燒(成为 CO_2) 或不完全燃燒(成为 CO)；

在高温时有碳的参加下 CO_2 和 H_2O 分解(离解)；

从燃料中分出矿的杂质；

其中某些杂质分解、氧化及熔化——形成炉渣；

焦炭在渣中燃尽。

有时构成燃料层的焦炭燒結成大块，或者相反地，煤块在加热时崩裂，甚至轉变成粉末。

^① 热解过程(热解轉变)是在高温的影响下进行的，在于使原始物質在沒有外来試剂的強制影响下轉变成另一种物質。一般在这种情形中获得較简单的物質，这种物質在高温下比較稳定。

究竟怎样经过这些阶段，在很大程度上取决于燃料的性质，燃烧方法，燃烧装置的特点及其维护。

燃用液体燃料的炉子中没有下列过程：干燥过程；燃料分解成挥发分和焦炭的过程；分出灰的过程，形成渣的过程，以及焦炭在渣中燃尽的过程。但同时在燃烧这种燃料时，都要进行液体的喷雾，并且热解转变过程具有很大的意义，在这种过程中几乎总是产生烟黑(热解产物)，然后在火炬中燃烧。在燃烧气体燃料时只有预热、着火、热解转变及气体在火炬中燃烧这几个过程。

新燃料从 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 加热到着火温度，是由于与炉中燃烧的燃料和炽热烟气接触而完成的，或是由于火焰和炽热炉墙的热辐射而完成的。

燃料湿分的蒸发，当燃料达到温度 100°C 时进行得特别强烈。

燃料($\text{C}_i-\text{H}_m-\text{O}_n$ 类型的化合物)分解成可燃挥发分和焦炭，在大约达到 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 时进行得最为强烈。这时分出的可燃挥发分具有下列成分： CO_2 、 H_2O 、 CO 、甲烷 CH_4 、乙炔 C_2H_2 及重碳氢化合物。重碳氢化合物在温度进一步提高时一般发生热解过程，转变成分子量小的物质，最后生成 CH_4 ， CO ，以及 CO_2 ， H_2O 。从燃料中分出可燃挥发分，一直继续到温度 $1,000^{\circ}\text{C}$ 以上。在层式炉中热解转变和挥发分的燃烧主要是在炉膛里进行，只有一部分是在燃料层中完成的。在火室炉中这两个过程都是在火炬容积的一定部分内完成的。

炉中燃料的燃烧是在着火以后开始的。有氧存在时，任何可燃物质都可以氧化，甚至在低温的时候也如此。但是这时氧化进行得很缓慢。随着温度的升高，氧化逐渐强烈起来。必须按照氧化的强烈程度分成两个温度范围。在第一个温度范围内，氧化时放出的热量不能保持可燃质和参与燃烧的空气或氧气的温度高于周围介质的温度。在高温范围内，氧化进行非常强烈，以致使温度升高到大大超过周围介质的温度，将氧化过程本身维持在这一程度上。

从第一个温度范围过渡到第二个温度范围，两者中间的过渡温度叫做可燃质的着火温度。

着火温度是燃料在炉中可能燃烧的最低极限。可燃质与氧在着火以前的化合过程一般叫做氧化，在着火以后的化合过程叫做燃烧。

着火温度只是对纯化学元素才有一定的意义。对于化合物来说，常没有一定的数值，至于对可燃质混合物来说，着火温度这一概念大为复杂了。工业燃料的着火温度更为不定，只能近似地定出有条件的平均值。但是这个数值正是燃料的一项极重要的特性，因为每种燃料均具有各自的特点，而燃料的正常着火温度是与这些特点有关的。各种气体、液体及固体燃料的着火温度列于表43中。

表43

可燃气体 或燃料	氢 H_2	一氧化碳 CO	甲烷 CH_4	木柴、泥煤及 年份浅的褐煤	烟煤	无烟煤、贫 煤及焦炭
着火温度 ($^{\circ}\text{C}$)	600	650	650~750	250	300~350	650~700

燃料的着火过程，在一切炉子的工作中都有着重要的作用，因为他决定着燃烧的稳定性。

加热一公斤燃料和参与燃烧的空气，从 0°C 升高到着火温度所需要的热量叫做着火比热。 $W_p=2.5\%$ 的烟煤，其着火比热为燃料发热量 Q_p^H 的 22.4%； $W_p=50\%$ 的新褐煤为 Q_p^H 的 26.1%。 $W_p=3.0\%$ 的冶金焦炭，其着火比热为 Q_p^H 的 33.0%。

着火比热的大小对于炉子的构造和工作非常重要，因为这一热量要由任一外来热源（例如热的砖层或已在炉中燃着的燃料层和火炬）供给进入炉中的燃料和空气。在着火之后，燃烧过的燃料又把自己着火时所得到的热量放出，供给其后的一分燃料和空气。

为了减少用于燃料着火而必需供给炉中燃料和空气的热量，可以预先加热空气，有时也可以预先加热燃料。

着火比热大，则燃烧过程较不稳定，因而在炉子里要有专门的燃料点火装置，如点火拱、烟气再循环装置等等。因此在上述情况下，如空气在进入炉子前先预热到较高的温度，则燃烧过程就变得比较稳定，同时燃烧装置的构造也简化了。

对于炉排来说，空气的预热有一定的限度，因为过度加热空气将会提高炉条的温度。这个限度列于表 46 和 47 中。着火过程以及在不同炉子和燃料下的着火条件，对燃烧装置的构件及其运行有很大的影响。一定炉子和锅炉机组的最低出力与着火过程有关。

在炉子最初升火时，必须建立一个十分强烈的燃烧源。在层式炉中通常借下法来达到：在炉排上燃烧一定数量着火温度低的木柴或木质废料。有时从邻近工作着的炉子中移入必需数量的炽热焦炭置于炉排上。新燃料投在燃烧源上，并将空气送入炉中，于是这样获得的燃烧源开始逐渐扩大。在火室炉中，采用重油和气体燃料作为升火时的辅助易着火物质。

燃烧过程 挥发分和焦炭的燃烧过程分开进行。焦炭的燃烧，无论是燃料层中的炭块、煤粉炬中的粉粒或者液体燃料火炬中的烟黑微粒，主要是沿着焦炭块粒的表面进行。在焦炭表面上进行的碳与氧的化合反应具有很快的速度，因此如果能保证及时迅速地供给反应所必需的氧并同时导出从表面上获得的燃烧产物，则固体块粒的燃烧过程进行得非常快。氧的达到表面和燃烧产物的离开表面，是依靠扩散进行的，由于燃烧产生的燃烧块粒表面处和周围大气中的浓度差就是扩散的冲量。一种气体扩散到另一种气体中，也包括氧和燃烧产物扩散到燃烧着的块粒周围的大气中，进行得非常缓慢。所有这些引起了这样的后果，即整个燃烧过程的最后速度完全取决于所需氧量达到燃烧颗粒表面的速度。氧扩散到燃烧着的燃料块表面就是限制碳的燃烧速度的一个因素。增大空气对燃料的相对速度，就可提高扩散速度。因此提高送风，可使碳的燃烧反应加快。这个结论直接利用在实践上：增大送风速度以强化炉排上的燃烧过程。但是加强送风会引起这样的后果，就是从燃料层中有大量细粒燃料被带入炉膛里，因而增大了燃料随飞灰带走的损失。实际上必须考虑到，空气流的速度沿炉排的分布并不是均匀的，同时燃料层本身的构成也是变动的，因而不可能以近于极限的燃料层仍然稳定的速度工作。

碳的燃烧进程尚未研究完成，其中焦炭的碳与氧化合的最初产物究竟是二氧化碳、是一氧化碳、还是两种都有，这个问题还不能认为完全解决了。

许多研究工作，例如邱哈诺夫、格罗佐夫斯基、希特林等的研究工作，都确定了 CO_2 ，

和 CO 同时出现。

经过观察确定，无论在层式炉或火室炉中，高温时在碳的作用下可发生还原过程： CO_2 转变成 CO， H_2O 转变成 H_2 ，而生成 CO。这种过程是煤气发生炉的主要过程，而在锅炉炉子中具有次要的意义，并且只是在燃料层极其厚的情况下才有可能。在火炬中或在燃料层中产生局部很高的温度时，也能由于离解而发生 CO_2 部分分解成 CO 和 O。火炬进一步冷却时，发生相反的过程：一氧化碳与氧化合而成 CO_2 。

在炉子工作中极其重要的是燃料灰分的放出、渣的形成及炉中灰渣的排除。燃料的灰分是各种矿物质的复杂混合物。其中一部分燃烧，一部分在焙烧时分解，一部分在炉温之下熔化，再有一部分在受热时发生很大的变化。灰渣累积在工作着的炉子中，应当时常排出。所有燃用固体燃料的炉子，特别是燃用多灰分和灰分易熔的燃料，在设计、装置及运行中，对灰渣的清除应予以很大的注意。

在燃料层固定的手烧炉中，随着燃料层的逐渐烧完，炉渣下降而直接累积在炉排的表面。这层渣叫做渣垫。

如果灰的熔化温度很高，过剩空气很多，并且燃料又很潮湿时，渣垫成多孔形。在相反的情况下，可发生渣充满炉条间空隙的现象，也即形成非常紧密的渣垫，致使空气很难通过。

活性截面(第39节)较大的炉排，与活性截面较小的炉排相比，通常产生较紧密较低的渣垫。这种现象的产生原因是前一种炉排的强烈燃烧带(图80)较低，而后一种炉排较高，因为其中空气充满燃料层整个截面的这一平面，离开炉排较远。在靠近炉排的燃料中，当炉排的活性截面小的时候，在邻近每个孔的个别部分形成局部较高的过剩空气，将空气孔旁的渣冷却。这种情况以及较强的送风，有可能使渣在冷却和下降到炉排之前，先被弄松。厚的渣垫给炉条造成较轻松的工作条件，因为从燃烧着的燃料层散发出来的热量被渣垫屏蔽了。

在燃料层移动的炉子中，渣累积在炉排的尽头(按燃料层的移动方向计)，这里有时放置一个不大的余燃炉排，渣在其上进行余燃。在这些炉子中，灰渣的扒出借人工进行，有时也有机械化的。

在火室炉中，一部分灰渣通常沉积在炉膛的下部，这里放置着灰渣斗。大部分灰(达65~90%)被带入锅炉的烟道里。沉积在灰渣斗中的渣，依靠本身重力的作用排除。有时在火室炉中渣成液态下落而沉积在炉底，不时地经过专门的渣槽而放出。

39. 炉排上燃料层的工作

层式炉中最主要的部分之一就是炉排，用以支持燃烧的燃料层。供燃烧用的空气经过炉条中的孔以及炉条间的隙缝送入，并沿燃料层分配。然而通过这些孔漏落了一部分灰，以及渣和燃料的个别块粒。为使隙缝和孔不致被阻塞，将它们做成向下扩大的。炉条多半用生铁制造。炉条的形状有多种多样的。对于手烧炉排，最普通的是棒状和板状

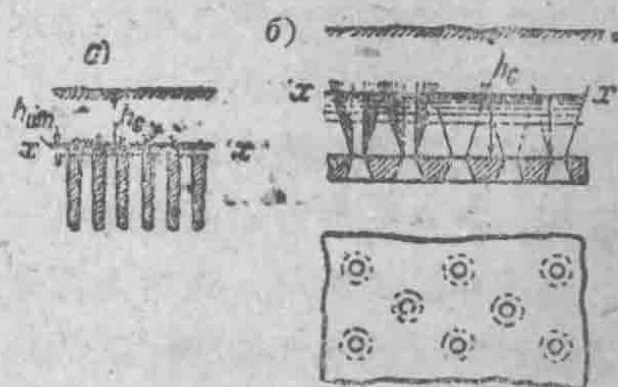


图80 活性截面大的(a)和小的(b)炉排的工作简图

xx—最强烈的燃烧带； h_c —燃料层的总厚度； h_{un} —渣垫的厚度。

炉条(图81和82)。炉条间的隙缝和炉条中的孔的大小与燃料块的大小有关,一般为3~15公厘。

炉排上所有孔和隙缝的面积,称为炉排的**活性截面**,通常用炉排面积的百分数来表示。

活性截面小(5~15%)的炉排,在燃用屑末含量多和挥发分小的细粒燃料时采用。这种炉排的炉条多半做成板状,其上带有圆孔或隙缝(图82)。这种炉排需要人工送风至炉条下面。

在燃用木柴和泥煤、并为自然吸风时,采用活性截面大的炉排,活性截面达25~40%,甚至更大。

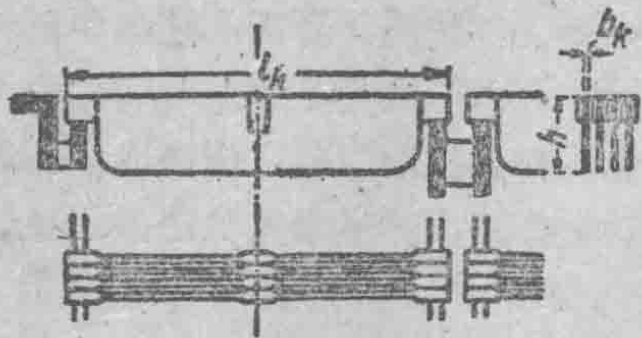


图81 棒状炉条

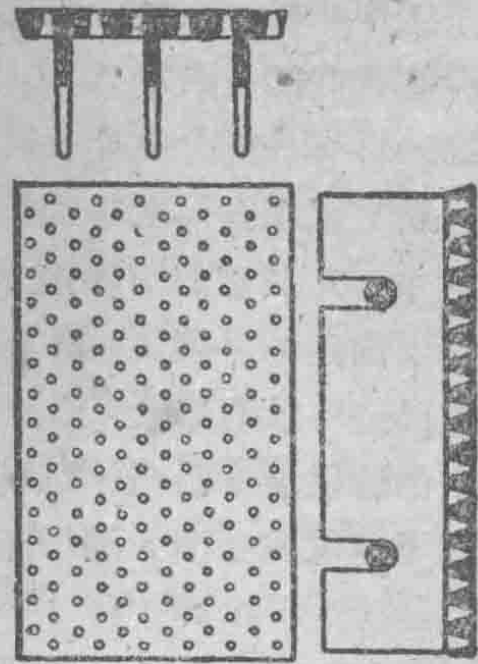


图82 板状炉条

在各种炉子中炉排几乎都是水平布置的(图79, I—1),或倾斜布置的(图79, I—2A),倾斜角在 45° 以下。

燃料在层中燃烧,以及与此有关的层式炉的工作特点,就是层式炉与火室炉最典型的区别。在火室炉中,所有燃料一方面燃烧,一方面与进入炉中的空气一起在火炬中运动。至于在层式炉中,通常大部分燃料是在炉排上的燃料层中燃烧的,燃料块在这里受着通过燃料层的空气冲刷。仅挥发分和较小一部分细粒燃料,被空气流从层中冲出,一方面随同空气流动,一方面燃烧,就象在火室炉的火炬中一样。

燃料中的挥发分愈多,则燃料的发热量在炉膛里放出的部分愈大,层中燃烧过程所起的作用愈小。在燃烧挥发分含量最小(有时达3%)的无烟煤时,燃烧过程完全在燃料层中进行。如果燃料具有极多的挥发分,也即在燃用长焰煤、褐煤、木柴、泥煤时,那末大部分热量被带到炉膛里放出,因而层式炉中的燃烧过程开始接近于火室炉。

如果空气速度大大提高,而燃料块度有一定的限度时,燃料层就丧失了自己的稳定性,几乎所有的燃料都被冲入炉膛里,就在这里进行燃烧。这种情况利用于不稳定层式炉子或燃料悬浮燃烧的炉子中,这种炉子就是火室炉和层式炉之间的过渡阶段,在层式炉中送风速度通常具有这样的数值,使只有极少数的屑末从燃料层冲入炉膛里。

空气和燃料的相对速度在火室炉中是很小的,至于在燃料层中,则达相当大的数值。这种情况显著地改善了块粒表面的给氧情况,因而增大了燃料的燃烧强度。固体燃料在块粒表面上进行的燃烧,在很大程度上取决于氧的扩散(从气体向该表面进行),以及燃烧产物的扩散(从该表面散出)。随着空气和燃料的相对速度的增大,扩散也加强,这一点对燃料的燃烧强度是有利的。

燃烧着的燃料(燃料层或火炬)的容积(V_{zm} 公尺³)热强度取决于燃料的发热量 Q_p^u (大

卡/公斤)、表面燃燒强度 k_s (大卡/公尺²·小时)、以及燃燒的燃料量 b_0 (公斤/公尺³)及燃燒块粒的总表面 f (公尺²):

$$\frac{Q}{V_{zm}} = Q_p^u k_s b_0 f \text{ 大卡/公尺}^3 \cdot \text{小时},$$

其中燃燒块粒的总表面 f 与其大小有关, 也即与其細碎程度有关。

在火炬燃燒时 b_0 很小, 等于 0.02 公斤/公尺³, 但 f 很大。在层式燃燒时相反, b_0 很大, 約为 1,000 公斤/公尺³, 而 f 很小。 k_s 值与送风速度无关, 对于粉状顆粒其值較大。决定 $\frac{Q}{V_{zm}}$ 的主要因素仍是 b_0 。所以燃料层的視在容积热强度总是大于燃燒火炬的热强度。同时第一种热强度为:

$$(1 \sim 10) \cdot 10^6 \text{ 大卡/公尺}^3 \cdot \text{小时};$$

第二种热强度一般約为:

$$(0.1 \sim 0.5) \cdot 10^6 \text{ 大卡/公尺}^3 \cdot \text{小时}.$$

加入层式炉中的燃料, 除揮发分的燃燒以外, 通常在燃料层中經過燃燒过程的所有阶段。所以在燃料层中可以分成以下几个区段:

a) 燃料在着火以前的預热区;

b) 干燥区;

B) 燃料分解区, 分解成揮发分和焦炭(揮发分逸出区);

r) 焦炭燃燒区;

A) 灰分放出和渣形成区, 这里碳在渣中燃尽。

除了这五个区段以外, 在燃料层移动的炉子中, 还有所謂还原区, 这里在高温之下燃燒产物 CO_2 和 H_2O 与碳相互作用而生成 CO 和 H_2 。在所有情况下, 由于这个过程而获得的 CO 和 H_2 进入炉膛, 同时应当象燃料的揮发分一样, 在这里燃尽。

上述几个区段, 对于人工投煤的炉排示于图 86 中; 对于炉排傾斜的炉子示于图 99 中; 对于豎井炉子示于图 104 中; 对于鏈式炉排示于图 110 和 111 中。

在人工投煤的水平炉排(图 86)中, 各个区段水平地分布, 并且基本上是一个个地依次連接。

观察图中燃料层, 在从上向下的高度上, 可以发现有三部分: 新投入的燃料, 燃燒着的焦炭, 以及渣垫。第一部分就是燃料在着火前的預热区。其中也同时完成燃料的干燥和分解成揮发分和焦炭的过程。因此, 这里存在着燃料层的所有正常区段。

对于层上机械投煤的炉子來說, 燃料层也是这样构成的。

对于傾斜炉排、豎井炉、鏈式炉条以及炉条搖动的炉子來說, 各个区段循着燃料的綫路分布, 因而也是沿着炉排依次分布。用图可以示出, 这些区段由若干平面彼此隔开, 而这些平面对炉排平面傾斜某一角度(图 99, 104 及 110)。这个角度对于第一区段和第二区段, 第二区段和第三区段, 第三区段和第四区段之間的分隔平面來說是一鈍角, 对于第四区段和第五区段之間的分隔平面來說是一銳角。这个角度与燃料层沿炉排的运动速度或燃料层同炉排一起的运动速度有关, 与相应过程的进行速度也有关。还原区位于焦炭燃燒区的上面, 其形状有些类似燃燒区。

在傾斜推动式炉排中, 由于燃料层强烈移动, 区段分隔平面在理想移动的情况下应

垂直于炉排平面分布。实际上，这些平面或多或少地近于这样。在这些炉子中，也与前述炉子一样，各个区段的位置依次连接(图158)。

在分級式炉子中，除了燃料层急剧移动以外，还有燃料层下层的再循环(图160)。这里各个区段不能很肯定地表示出来，不过一般說来，可以认为区段的分布大致类似于燃料层移动的炉子。在分級式炉排上由于再循环以及与上层的混合，可燃燒碎煤和很潮湿的燃料。

在下飼式炉子中，各区段的次序是沿着燃料的路綫也即从下向上的。这里各个区段由分隔面彼此隔开，而这些分隔面的形状与炉排和加料槽的结构形状及其相互位置有关。

除此以外，还要說明，在所有的炉子中，一般相邻区段彼此有些重迭。例如在着火点較高的情形下，仅在燃料通过揮发分逸出区的大部分以后才开始着火；至于揮发分的放出，縱使速度緩慢^①，也要持續到焦炭燃燒区的大部分。

燃料层的构成及其燃燒过程，在很大程度上与燃料的物理性質、化学性質及热工性質有关。这里有很大影响的是燃料的发热量，揮发分的含量和組成，湿度，灰分的含量和組成，灰渣的溶解温度，渣的粘度，焦炭的燒結性，焦炭在火焰中的崩裂能力，焦炭块的机械强度，焦炭块的疏松度等等。考虑所有这些性質的影响后，就可以确定在哪一种炉子中最适宜燃燒哪一种燃料，以及燃料的燃燒过程是怎样进行的。

40. 燃料层的厚度和阻力。空气的加入

燃料层的构成对燃料的燃燒过程、整个炉子的工作、炉子在工作时的維護以及炉子的調节等有很大的影响。在这方面，燃料层的厚度和空气通过燃料层的阻力也有很大的意义；至于空气的阻力，与燃料层的厚度及其构成有关。燃料的湿分愈多，块度愈大，燃料层就愈厚。因此，湿分含量很高并且是以大块燃燒的木柴和泥煤，其燃料层就比其他燃料要厚。在燃燒煤时，煤中揮发分含量愈少，煤层就愈厚。燃用多灰且灰分难熔的燃料时，其燃料层較少灰且灰分易熔的燃料时要厚。炉子的型式也影响到燃料层的厚度。例如在下飼式炉子中，煤层达到相当大的厚度，达1.0公尺以上。燃料层的厚度是一个假設的概念，这是因为，例如，即使在燃料层固定的炉子中，虽然这里厚度沿整个炉排是一定值，但是厚度取决于渣的厚度：在清炉之前，燃料层較厚，在清炉之后燃料层較薄。在燃料层移动的炉子中，其厚度沿着燃料的路綫而逐漸降低。在表44中列出了一般采用的燃料层厚度的平均值，其中沒有計入渣垫。

表 44 燃料层的正常厚度(公厘)

燃 料 的 种 类	燃料层的正常厚度	燃 料 的 种 类	燃料层的正常厚度
莫斯科近郊煤 [⎧] 細粒 [⎨] [⎩] 大块	40 70	褐煤磚，尺寸为60×60×40公厘	250~300
粒状无烟煤，粒度为2~5公厘	60~80	块状泥煤	300~900
核桃状无烟煤，块度为2~30公厘	100~120	細粒泥煤	400
大块无烟煤	200	木柴	600~1500

① 似为“較快”之誤。——譯者

空气通过燃料层的阻力取决于：燃料层的厚度和构成，燃料块的大小和均匀程度，大小不同的燃料块之间的数量比，燃料块的形状及其表面状态，放出热量和气体的强烈程度，燃料在燃烧中的品质(火焰中的崩裂程度、烧结性)，在燃料层中流通气体由于温度改变而产生的速度变化，湿分的蒸发，挥发分的逸出，完全和不完全燃烧气态产物的生成，以及结渣情况等等。

实际上，对燃料层的阻力的某一平均经验数值是确定了的(表45)。

表 45 在燃用不同燃料的层式炉中炉排的热强度和燃料层的阻力

燃 料 的 种 类	炉 排	炉排的热强度 (大卡/公尺 ³ ·小时)	阻 力 范 围 (公厘水柱)
木柴	手烧炉排	1·10 ⁶ ~1.5·10 ⁶	4~15
	竖井炉	1·10 ⁶ ~1.5·10 ⁶	3~15
块状泥煤	手烧炉排	1·10 ⁶ ~1.5·10 ⁶	8~18
	竖井炉	1·10 ⁶ ~1.6·10 ⁶	6~12
褐煤	手烧炉排	0.7·10 ⁶ ~1.2·10 ⁶	10~80
莫斯科近郊煤			
鲍格斯洛夫斯克煤			
顿巴斯Д号(不烧结性)和Г号(烧结性)烟煤			
顿巴斯贫煤	手烧炉排	0.7·10 ⁶ ~1.0·10 ⁶	8~75
顿巴斯АП(大块)和АК号(大核桃块)无烟煤	手烧炉排	0.7·10 ⁶ ~1.3·10 ⁶	20~80
АМ和АС号(小核桃块和粒状)无烟煤	手烧炉排	0.7·10 ⁶ ~1.0·10 ⁶	10~80
АРМ号无烟煤末	手烧炉排	0.7·10 ⁶ ~1·10 ⁶	25~80

燃料层的阻力包括炉排的阻力，渣垫的阻力以及燃料层其余部分等的阻力。渣垫产生最大的阻力。

按照波米朗采夫和克留柯夫的資料，燃料层的阻力可按下式计算：

$$\Delta P = \xi \frac{h_{cA}}{d_{cp}} \cdot \frac{w^2}{2g} \gamma \tag{419}$$

这里 d_{cp} 是指燃料块的直径，速度 w 取自燃料层的整个截面。对于冷的燃料层来说， $\xi = f(Re)$ 可按图83所示的曲线图确定。

假使取燃料块的有效直径(约等于 $d_e = 1.25d_{cp}$)代替 d_{cp} ，则(419)式略有简化，

$$\Delta p = \frac{2}{0.0005Re} \cdot \frac{h_{cA}}{d_e} \cdot \frac{w_{\phi}}{g} \tag{420}$$

这里 d_{cp} 按下式确定：

$$\pi d_{cp}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \pi d_i^2}{\sum_{i=1}^m n_i},$$

w_{ϕ} ——通过速度，按下式确定：

$$w_{\phi} = \frac{V_{cek}}{F},$$

式中 V_{cek} ——每秒钟内通过的空气容积；而 F ——燃料层的总截面。雷诺数 Re 如下：

$$Re = \frac{w_{\phi} \cdot d_e}{\nu}$$

式中 ν ——空气的粘度。

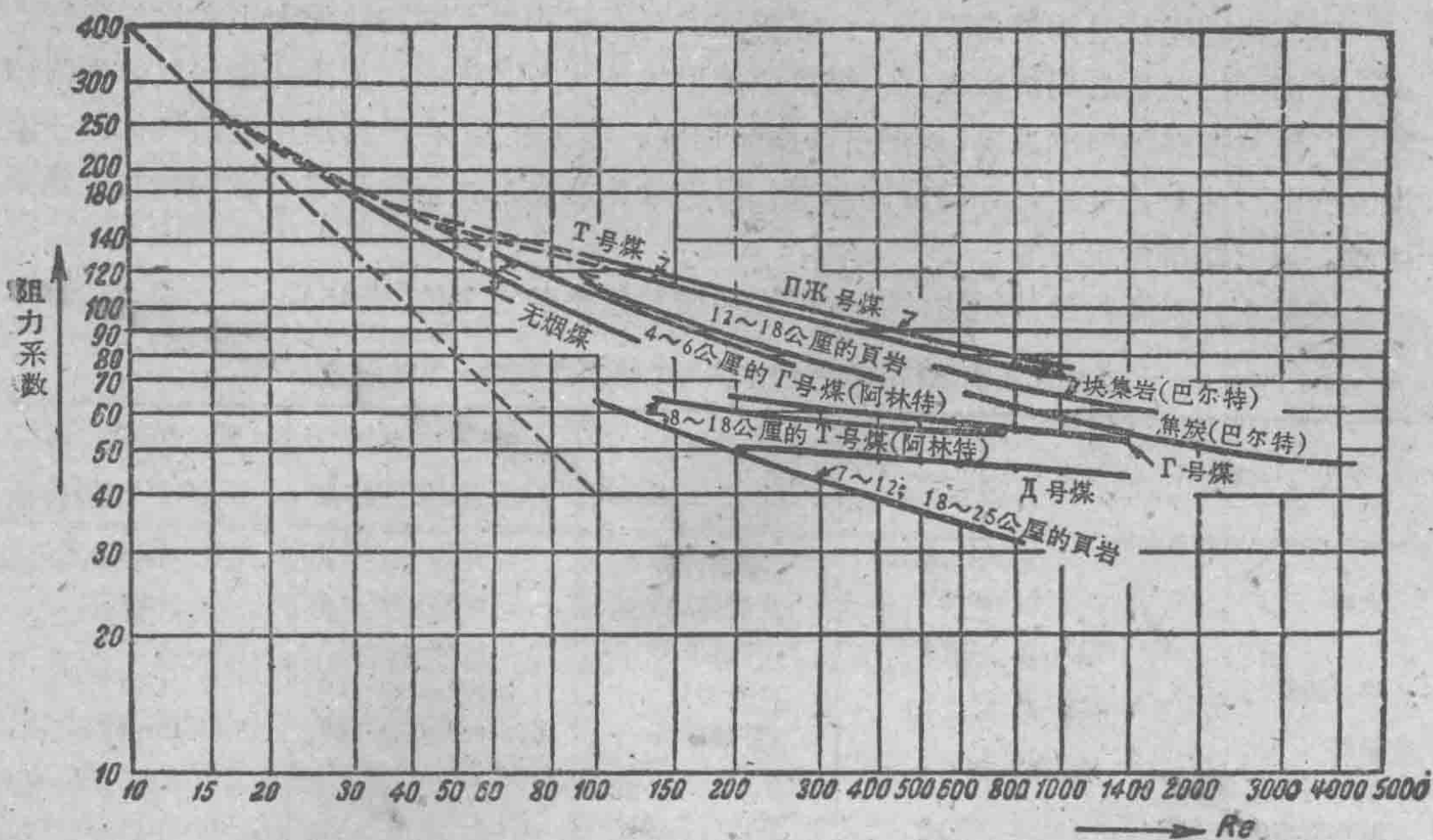


图 83 各种不同燃料随 Re 准則而变化的冷燃料层的阻力系数

燃燒頓巴斯无烟煤的試驗实际获得的燃料层阻力示于图84和85，前者适用于灰分难熔的无烟煤，后者适用于灰分易熔的无烟煤。阿林特的試驗确定，炉子在工作时，即使在空气适中的情况下，也有直径为0~3公厘的微粒从燃料层中冲出，因此实际上在燃料层中总是存在大于3公厘的燃料块。燃料层中沒有了这种屑末，就能以較高的热强度工作：約提高25%。

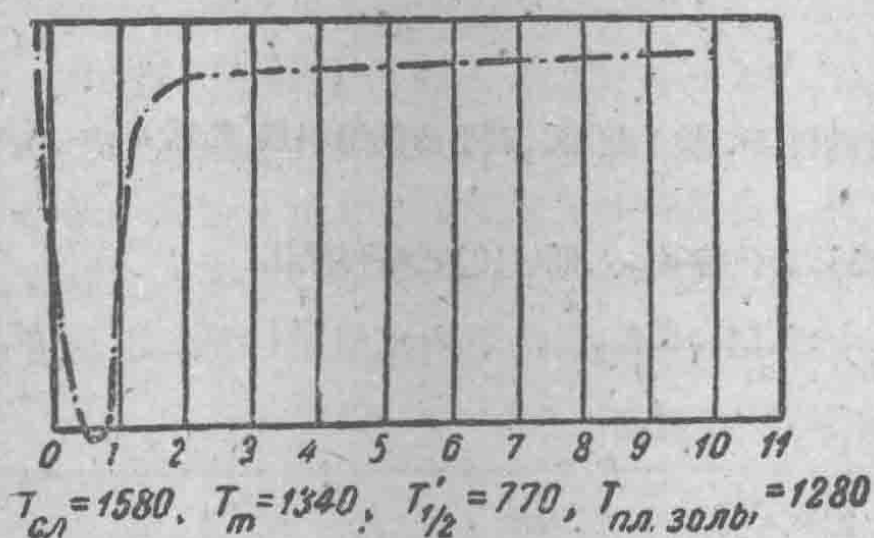


图 84 灰分难熔的无烟煤层的阻力随時間 (小时)而变化的曲綫图

送入各个区段和整个燃料层的空气量，在沒有分段送风、調节吸风以及炉膛里可調节地送入二次空气的情况下，完全取决于燃料层的厚度、构成及阻力。如果已确定某种燃料和燃燒装置的燃燒过程在空气过剩系数 α_m 为某一

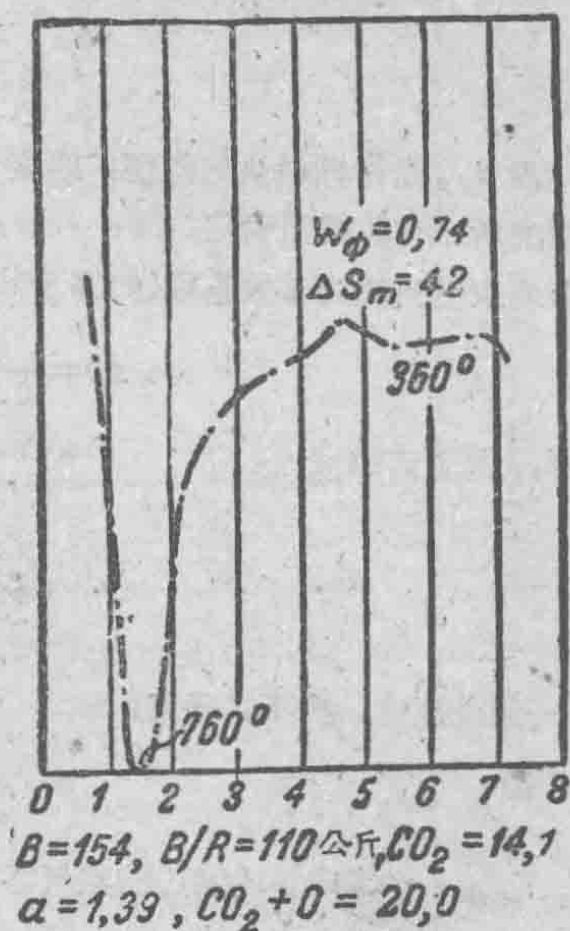


图 85 灰分易熔的无烟煤层的阻力随時間 (小时)而变化的曲綫图

确定的数值下进行得最好，那末無論在什么時間，無論在燃料层的那一部分，只要都遵守下列条件时，炉子的工作将达到最好，就是：

$$\frac{dV'_z}{dV''_z} = \text{常数}, \quad (421)$$

式中 dV'_z ——需要的空气量；

dV''_z ——在这时或在燃烧层的这个地方分布的空气量。

經過对最普遍的燃烧装置的工作进行分析后証明：如果不采取某一措施，那末在任何一种情形下都不能遵守关系式(421)。

在燃料层固定的炉子中，燃料投入以后不久，揮发分很强烈地逸出，这时需要的空气量极大，而进入的空气极少，因为燃料层还没有燒透，其阻力很大。在其后一次投煤之前，經過燒透而較薄的燃料层，由于其阻力减小，因而通过很多的空气，然而这时燃料层中需要的空气大大减少。在燃料层固定但层上采用机械投煤的炉子中，仍然发生同样的現象，虽然其程度有所緩和。

在燃料层移动的一切炉子中，由于在炉排长度上或在燃料綫路上燃料层的构成不均匀，因而也不能保持条件(421)。在炉排或燃料綫路的起点及其中部，空气的需要量很大，而燃料层还很厚，其阻力仍相当大，因而进入的空气不足。至于离开燃料綫路或炉排終点不远的地方，相反，燃燒已减弱，因为这里只有渣中的焦炭在余燃，然而这里的燃料层很薄，阻力很小，因而进入炉中的空气量很大。

条件(421)可用另一形式表示如下：

$$\frac{dV'_z}{dV''_z} = \frac{BdV_0}{B\alpha_m^x dV_0} = \frac{1}{\alpha_m^x} = \text{常数}; \alpha_m^x = \text{常数}. \quad (421a)$$

式中 α_m^x 是指在燃料层的被考察处和这个时刻的过剩空气系数。

条件(421a)表示：对于层式炉來說，在燃料层从某一处轉移到另一处，而过剩空气系数保持常数，并且此系数也不随時間而改变的情况下，燃料层工作得最好。

炉子的改良在大多数情况下在于使它能在一定程度上接近于实际遵守条件(421)和(421a)。旨在改善燃燒过程的許許多多工作方法，也就是为了这个目的。这里例举燃料投入的机械化，燃料层移动的层式炉中采用二次空气加入炉膛，装置阻渣板等来加以說明。借助机械化投煤可达到非常接近于在炉門关闭时刻的連續加煤。这样一来，可消除在人工投煤时有大量空气侵入炉膛的現象，从而降低炉膛的过剩空气系数 α ，至于在人工投煤的时刻，过剩空气系数极大。加入二次空气的目的是在于消除在燃料层固定的炉子中，当揮发分大量逸出时炉膛里空气的不足。

分段送风采用于燃料层移动的炉子中，使能在每一个区段中送入各种不同的空气量，以适合这些区段中空气的需要，因而能使不同的区段中各种不同的 α 值略趋相等，也即在一定程度上近于遵守 $\alpha_m^x = \text{常数}$ 的条件。鏈式炉排上阻渣板的作用也是这样，用以增大渣余燃区中燃料层的厚度以及与此有关的燃料层的阻力。因此这里 α 减小，接近于条件(421a)所确定的数值。

下面选取各种型式的炉子，用綫图較詳細地討論这些炉子中的燃燒不均匀的情况，并且說明其防止途徑。

对于炉子的工作，特別是对于炉子的照管來說，燃料和空气的相互运动方向、炉中