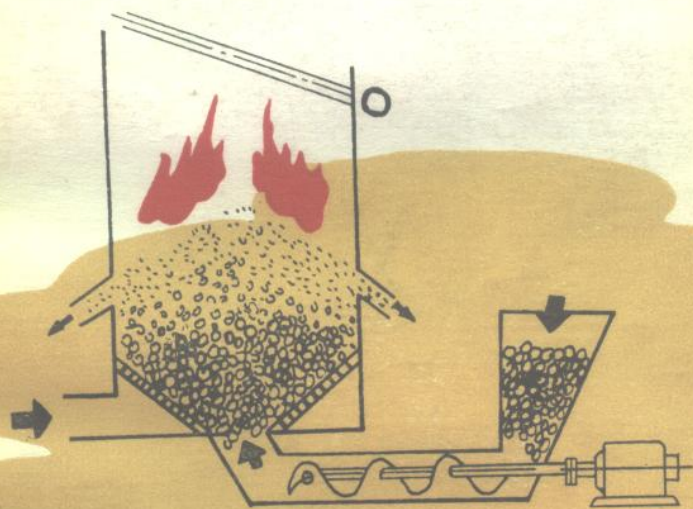


节约能源防止污染小丛书

# 怎样节约锅炉燃料

张永年 编著



科学普及出版社

72.5727  
548

# 怎样节约锅炉燃料

张永年 编著

≡10524/15

科 学 普 及 出 版 社

## 内 容 提 要

节省锅炉燃料，减少锅炉烟囱的排气污染是大力开展节省能源，加强环境保护工作的重要课题。

本书着重讨论了为节约燃料，减少污染，对多种中、小型锅炉实行的改进措施，提出了进一步改造的方法。并对这些锅炉的性能、特点、工作原理和操作方法有所介绍。本书可供工矿企业、机关团体的锅炉设计、管理和操作人员参考使用。

### 怎样节约锅炉燃料

张永年 编著

责任编辑：张静韵

封面设计：王维娜

科学普及出版社出版（北京白石桥紫竹院公园内）  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售  
妙峰山印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：2<sup>1</sup>/<sub>4</sub> 字数：50千字

1982年4月第1版 1982年4月第1次印刷

印数：1—14,500册 定价：0.23元

统一书号：15051·1015 本社书号：0268

# 目 录

<b>第一章 燃料和燃烧</b> .....	( 1 )
一、燃烧三要素：空气、温度和时间.....	( 1 )
二、三类主要的化石燃料：煤炭、石油和天然气.....	( 4 )
<b>第二章 锅炉的发展</b> .....	(12)
一、锅.....	(12)
二、炉.....	(17)
<b>第三章 锅炉的节煤和改造</b> .....	(28)
一、锅炉的热效率.....	(28)
二、民用炉的改造.....	(33)
三、改善锅炉的运行.....	(34)
四、加煤和出渣的机械化.....	(38)
五、二次风的应用.....	(41)
六、炉内除尘与废煤复燃装置.....	(44)
七、外置式燃烧室.....	(52)
八、捆管式锅炉.....	(56)
九、烟风道系统的改进.....	(60)
<b>第四章 电能生产和热电联合供应</b> .....	(65)
一、电能的生产.....	(65)
二、热电联合生产.....	(69)

# 第一章 燃料和燃烧

燃烧，与人类的发展和社会的进步有着极为密切的关系。蒸汽机的使用，是人类继发明用火之后，在驯服自然力方面所取得的最大胜利。蒸汽机发明后，使人类在不到一百年的历史中所创造的生产力，比过去多少个世纪所创造的全部生产力还要多，还要大。

现代，人类虽已跨入了征服宇宙的时代，飞向月球，飞向太空……，但是人类对于燃烧的依赖却越来越大了。宇宙飞船、洲际导弹、喷气飞机、远洋巨轮，所有现代化的技术及设备都不能脱离燃烧而独立存在！在人类为征服大自然需要的能源中，绝大部分是通过燃烧来取得的。经过“热”这个环节而被利用的能量，在我国占总能源的90%以上，世界各国平均也超过85%。

## 一、燃烧三要素：空气、温度和时间

要学会烧火，对每个人来说也许是一件十分简单的事情。但是，要掌握燃烧技术这门学问，却远非轻而易举，而是需要下一番大功夫的。

现代化的燃烧设备极为庞大而复杂。目前世界上最大的一台每小时可产蒸汽4220吨的锅炉，高达85米，宽34米，深31.5米。西德有一台烧低发热量褐煤的锅炉（出力

1870吨/时), 高度竟达120米, 相当一幢30层的高楼。大型锅炉设备的总重量往往超过万吨以上, 而组成锅炉的各种管道总长度达几百甚至一千多公里。例如, 法国的一台1820吨/时的锅炉总重量为15300吨, 组成锅炉的各种钢管总长为300公里, 而美国有一台3630吨/时的锅炉钢管总长竟达1600公里。

虽然燃烧设备越来越庞大、复杂, 但是燃烧的基本条件却是不变的, 即必须具备空气、温度和时间这三个条件。燃烧设备的发展和改进, 基本上也就是围绕着这三个条件来进行的。

燃烧是一种化学反应, 其实质是可燃物质的氧化过程, 由此释放出一定的热量来。因此, 燃烧的前提是需要氧气。那么, 如何合理地来供应燃烧所需要的氧气呢? 取之不尽、用之不竭的空气是供应燃烧所需氧气的天然宝库。因为空气主要是由氧气和氮气组成, 其中含氧量为21%。但是, 如果人们不去合理地组织气流, 燃烧仍然无法很好地进行。

首先让我们作一个小实验: 在一只小口铁罐内点燃一枝蜡烛(图1 a), 过不了多久蜡烛就会熄灭。这是由于蜡 烛 燃

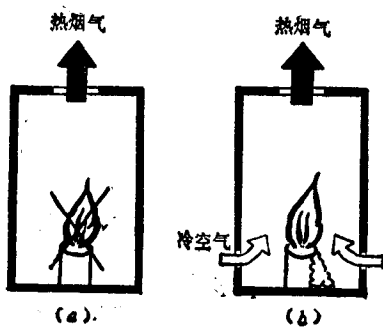


图 1

烧后的热烟气堵住了罐口, 使新鲜空气无法向罐内补充, 致使罐内因严重缺少空气而熄灭。但是, 我们如果在罐的下口处开几个小孔, 如图1(b)所示, 那么气流就能得到合理的组织, 冷空气从下面的小孔进

入罐内，而热烟气由罐的上口排出，各行其道，互不影响，从而使罐内的蜡烛有了良好的燃烧条件。

仅仅有了足够的空气，并不一定都能使燃烧很好地进行下去。因为燃烧还必须具备一定的温度。如把一枝蜡烛放置在大气中，其空气供应量是极为富裕的，但是当空气较强地发生对流时，燃烧温度过低，蜡烛就会被吹灭。再如，当森林起火时，火焰温度升高到一定的程度，大风非但吹不灭火焰，相反火仗风势，越烧越旺，而强烈的冷、热空气的对流，又促使产生更大的风来助燃。

每种燃料都有各自的着火温度，表1所示为一些燃料所必需的着火温度。

各种燃料的着火温度

表 1

燃 料 种 类	着火温度(°C)	燃 料 种 类	着火温度(°C)
泥 煤	220~300	高 炉 煤 气	500~800
木 柴	250~350	焦 炉 煤 气	400~550
褐 煤	250~450	发 生 炉 煤 气	500~750
烟 煤	300~650	天 然 煤 气	500~750
重 油	500~600	无 烟 煤	600~750
煤 油	500~580	焦 炭	700~800

除了空气与温度以外，燃烧还必须具备足够的时间。这个时间包含两种因素：一是燃料的化学反应，即氧化过程所需要的时间。这个时间一般来说是很短的。以300微米的粒子来看，炭粒子和煤粉粒子约需1秒，轻质油为0.1~0.3秒，重油为0.5秒，因而并不起主导作用。二是空气与燃料混合所需要的时间，如果这个时间得不到保证，那么燃烧既不可

能顺利进行，也不可能燃烧完全。在燃烧技术的发展过程中，使燃料和空气得到充分的接触，也即减少混合所需要的时间，以加速燃烧的进行，应放在极为重要的地位。例如煤粉炉的出现是工业锅炉的一次重大革新，其主要着眼点就是把煤块磨成粉状，用空气吹到炉膛中去呈悬浮状态燃烧。据测试，1公斤的煤块其表面积只有0.01平方米，而制成煤粉后，其表面积可增大到400~600平方米。这样，就可以使空气很快渗透到煤粉的表面，从而大大加速燃烧速度。不同的燃料、不同的燃烧方式和不同的锅炉炉型，对于空气、温度和时间的要求也是不尽相同的。只有根据具体情况，抓住主要矛盾重点加以改进，才能达到理想的节煤效果。

## 二、三类主要的化石燃料：煤炭、石油和天然气

我们通常所说的燃料，是指地球上的化石燃料。化石燃料的形成，实际上还得归功于太阳的光辉。当太阳辐射能进入地球表面后，其中有一部分被绿色植物的叶子所吸收，并转变成动植物有机体内比较稳定的化学能贮藏起来。由于地球上的沧桑之变，死去的动植物被埋在岩层下面，经过漫长的地质年代，在长期与空气隔绝的条件下进行腐蚀、分解和变质，最终形成了煤、石油、天然气和油页岩等化石燃料。因此，从某种意义上来说，化石燃料是太阳能长期贮存在地球上的一种能源。

1. **煤炭** 从中外历史上看来，煤炭是一种应用年代最长，应用范围最广泛的燃料。第一次世界大战以前，煤炭是资本主义国家工业的动力基础，它在燃料构成中的比重一直遥遥领先。据统计，煤炭在燃料构成中的比重，1913年为



92.2%。第一次世界大战后，由于石油工业的兴起而开始下降，到1967年退居第二位。现在，煤只占世界能源的25%，而石油却占50%。目前，由于石油能源的“危机”，煤炭的利用又有所增长。

煤由于埋藏在地层深处的年代不同，所以碳化程度的深浅也不同。煤可以分为无烟煤、烟煤、褐煤、泥煤等几种类型。

煤的成分主要由碳(C)、氢(H)、硫(S)、氧(O)、氮(N)、水分(W)和灰分(A)组成。其中碳、氢和挥发性硫是可燃部分，其余都是不可燃的。

作为燃料来说，煤种主要以其挥发分来进行分类。什么叫挥发分呢？你在家烧煤球炉时可以仔细观察一下，当刚加进的煤球尚未燃烧时，在煤层的上方呈现出一层蓝色的火焰，那就是挥发分。这是煤在受热后，首先被分解出来的可燃气体，它的主要成分是碳氢化合物、氧化碳、硫化氢、氧化硫和氮气等。如果煤中含有的挥发分越高，它就越容易燃烧。因为挥发分的着火温度大大低于碳的着火温度，挥发分的析出和燃烧成为煤燃烧的引燃部分，使煤层的温度升高，从而促使煤稳定燃烧。所以当你用扇子向煤炉扇风希望加快燃烧速度时，如果发现煤层上方出现了蓝火，你就应该停止扇风，以免把挥发分吹跑，反而影响煤的正常燃烧。

煤所发出的热量主要来自碳。碳的含量一般都在40%以上，无烟煤的含碳量有的竟达85%左右。1公斤纯碳完全燃烧后生成二氧化碳 $\text{CO}_2$ ，能放出大约7850千卡的热量。但是，当碳不完全燃烧时，它的发热量大大降低，1公斤碳在不完全燃烧时生成一氧化碳 $\text{CO}$ ，它放出的热量只有2214千卡。当然，如果一氧化碳继续燃烧而变为二氧化碳时，它还

可以放出那部分没有被放出的热量。碳的燃烧特点是不易着火、燃烧缓慢、火焰短，碳本身要在比较高的温度下才能燃烧。所以煤的含碳量越高，其着火和燃烧也就越困难。

氢是煤中能放出最大热量的元素，但是因为其含量一般只有3%左右，因此并不在发热量中占有重要地位。1公斤纯氢燃烧后能放出34180千卡热量，相当于碳发热量的4倍，同时生成水。但由于水还会吸收热量蒸发为水蒸汽，所以氢在锅炉中燃烧后，实际能利用的热量比实验室测得的数据要低些，约为28780千卡。

灰分是煤中所含的废物，它是由煤中不可燃的矿物质组成，主要有 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 等。灰分越多，燃料的发热量相应也就越低。灰分对燃烧设备会造成严重磨损。如果燃烧温度过高，灰分可能被熔融而结渣，使锅炉的正常运行受到破坏，灼热的灰渣排出时，带走了一部分热量，使锅炉效率降低，为了排除灰渣还需要一系列复杂的设备，灰渣需要堆放场地，而飞灰造成大气污染……。总之，煤中的灰分作为燃料而言是有百害而无一利。煤中的灰分一般为5~35%，劣质煤的灰分可达40~50%，而石煤的含灰量更高达70~80%。

硫在煤中的含量虽然很小，一般的煤仅占1%以下，但是它的危害却很大。因为硫在燃烧后生成二氧化硫 $\text{SO}_2$ ，并进一步氧化为三氧化硫 $\text{SO}_3$ ，当其与水蒸汽接触时，化合成为腐蚀性很强的硫酸蒸汽，不仅能腐蚀锅炉的受热面，而且由烟囱排入大气后造成严重的污染，对人体和建筑物都有危害。

煤的发热量指的是1公斤煤燃烧后所得到的热量，有高位发热量和低位发热量两种。高位发热量是在实验室里测得

的发热量。在测试过程中，煤在燃烧时其所含的水分在吸收热量后变为水蒸汽，但在测量发热时，这部分水蒸汽又将其吸收的汽化潜热释放出来而重新变为水，而高位发热量则包括了这部分水蒸汽放出的热量。但是当锅炉燃烧时，水蒸汽将随同热烟气排出锅炉外，因此这部分水蒸汽的汽化潜热是无法利用的。扣除这部分汽化潜热的煤的发热量叫作低位发热量。所以低位发热量指的是锅炉燃烧实际能得到的发热量。

发热量的高低直接与煤中的含碳量有关。例如无烟煤的含碳量最多，它的发热量也就最高，但是评价煤的燃烧好坏，还与挥发分有关。无烟煤的发热量虽然高，但是挥发分却很低，所以对于锅炉燃烧来讲，无烟煤不是很容易燃烧的一种燃料。但是挥发分高的燃料是否就是好呢？那也不一定，现将各种煤的简要特性介绍如下。

(1) 无烟煤 也叫作白煤，其挥发分很少，一般小于10%。没有烟囱的民用生活锅炉必须燃用无烟煤。无烟煤表面呈金属光泽或半金属光泽，颜色为灰黑或黑色，个别微带金黄色。这种煤质地坚硬，不易碎裂，燃烧时只有很短的蓝色火焰。在工业锅炉中燃用无烟煤时要特别注意控制炉膛的温度，稍不注意容易使锅炉熄火。

(2) 烟煤 是工业锅炉中应用最广泛的煤种，它的埋藏年代比无烟煤短，外表呈灰黑色，有光泽，具有贝壳状的断面，质地较松。挥发分的变化幅度很大，在10~45%之间。对于工业锅炉而言，挥发分含量以30%左右为宜。低于这个数值，燃烧就较困难。人们把挥发分为10~20%的烟煤叫作贫煤，对于燃用贫煤的锅炉与烧无烟煤的锅炉一样需作特殊处理。

(3) 褐煤 因煤的表面呈褐色而得名。其碳化程度更次

于烟煤，质脆易碎，虽然挥发分很高，但因生成年代较浅，故含水量一般高达25~40%。褐煤的点火容易，但也容易自燃，故不宜作长途运输。

(4)泥煤 埋藏年代最短，尚在开始由植物质变为矿物质的阶段，碳化程度最浅，它的颜色如同黑褐色的泥土，多分布在湖塘沼泽地带，含水分很高，有的甚至达90%，发热量较低。

综上所述，现将几种锅炉用煤的特性列表如下：

锅炉用煤的特性

表 2

特性 煤种	碳 C <sub>y</sub> (%)	氢 H <sub>y</sub> (%)	氧 O <sub>y</sub> (%)	氮 N <sub>y</sub> (%)	硫 S <sub>y</sub> (%)	灰分 A <sub>y</sub> (%)	水分 W <sub>y</sub> (%)	挥发分 V <sub>y</sub> (%)	低位发热量 Q <sub>低</sub> (千卡/公斤)
无烟煤	69.3	2.35	2.54	0.77	0.47	19.2	5.28	5.51	6189
变化范围						15~20	5~10	4~10	5000~6000
烟煤	46.83	3.09	4.44	1.01	0.47	33.29	10.87	33.2	4325
变化范围						20~25	5~12	25~40	4000~5000
劣烟煤	34.4	2.62	3.04	0.6	0.24	46	14.1	32.74	3230
变化范围						35~50	12~18	25~40	2500~3500
贫煤	47.93	2.86	3.09	1.17	1.45	33.8	9.7	14.1	4500
变化范围						20~40	5~10	10~15	3500~5000
褐煤	33.2	2.3	10.5	0.56	0.54	23	30	45.7	2875
变化范围						15~20	25~40	40~55	2500~3500

注：1.注脚<sub>y</sub>是指应用基标准，即以锅炉实际应用的煤为标准计算得到的百分数；

2.注脚<sub>r</sub>是指可燃基标准，即以煤中的可燃质（挥发分与固定碳）为100%所得到的百分数。

当你来到煤矿时，那一座座堆积如山的煤矸石一定会引

起你的注意。煤矸石是煤矿开采中排出的废弃物，是夹在煤层中的含有少量可燃物的石头，俗称石子煤，其发热量约为1000~2000千卡/公斤。

在我国南方，蕴藏着丰富的石煤资源。石煤的煤质条件与煤矸石近似，其特点是低碳低热，发热量一般为800~3800千卡/公斤，高灰高硫，灰分含量高达60~80%，硫分在2~3%。

煤矸石和石煤的共同特点是燃烧比较困难，我国在研究如何利用这些低质燃料方面取得不少成果。目前，小型沸腾锅炉和捆管式锅炉在燃用煤矸石和石煤方面已积累了一定的经验，为开发利用这些低级能源提供了有利的条件。

**2. 石油** 石油是由不同成分的碳氢化合物组成的复杂化合物，其特点是发热量高，低位发热量一般为9000~10500千卡/公斤，也就是说1吨石油的发热量相当于2吨原煤。燃油的灰分极少，一般不大于1%，因此对于环境的污染小，使用方便。

燃油的主要物理特性有：

(1) 粘度 粘度是用来表示油的流动性的指标，对油的输送和燃烧（雾化）有直接的影响。粘度小，则流动性好，有利于输送和雾化。粘度与油温成反比，所以对于粘度高的重油或渣油，必须在输送过程中加温，以便使其粘度降到许可的范围。油的粘度单位通常用恩氏粘度来表示，它是用恩氏粘度计测得的。如果燃油锅炉采用机械雾化的喷嘴，那么燃油在喷嘴前的粘度最好为恩氏粘度2~4度（2~4°E）。

(2) 凝固点 指燃油丧失流动性时的温度。

(3) 闪点和燃点 燃油加热到某一温度时，用火焰接近其表面，可产生短暂的闪火，这个温度称为闪点。如继续加

热升温以至燃油闪火后能持续燃烧，这个温度称为燃点或着火点。燃油的闪点和燃点越高，贮存时起火的安全性就越小。对于燃用原油的锅炉来说，由于其闪点很低(28~38°C)，因此要特别注意防止火灾。

(4)比重 燃油的比重比水轻，一般都在0.88~0.99范围内。

锅炉燃用重油的特性

表 3

特 性	重 油 牌 号			
	20	60	100	200
粘 度 ( $^{\circ}\text{E}_{80}$ ) $\rightarrow$	5	11.5	15.5	5.8~9.5 $^{\circ}\text{E}_{100}$
凝 固 点 ( $^{\circ}\text{C}$ ) $\rightarrow$	15	20	25	36
闪 点 (开式) ( $^{\circ}\text{C}$ ) $\rightarrow$	80	100	120	130
水 分 (%) $\rightarrow$	1.0	1.5	2.0	2.0
硫 分 (%) $\rightarrow$	1.0	1.5	2.0	3.0
机械杂质 (%) $\rightarrow$	1.5	2.0	2.5	2.5
灰 分 (%) $\rightarrow$	0.3	0.3	0.3	0.3

与石煤相类似，还有一种含有油的石头叫作油页岩，呈片状，发热量较低，约为1500~2600千卡/公斤，灰分高达70%以上，也是一种低质燃料，但由于其挥发分很高，一般为70~80%，故目前已成功地应用于锅炉燃烧。

**3.天然气** 早在一千七百多年前的东汉时代，天然气就在四川、云南等地因钻井采盐而被发现和利用了。

天然煤气是碳氢化合物、硫化氢和惰性气体等的混合物，其中主要可燃气体是甲烷 $\text{CH}_4$ ，含量达75~98%，因此

其发热量很高,一般为8000~13000千卡/标准米<sup>3</sup>,每立方米天然气的发热量可相当于1公斤重油或2公斤原煤的发热量。

天然气分为气田煤气和油田煤气两种。气田煤气是从地下气层引出,其特点是含甲烷量极高,一般占94~98%,重度约为0.5~0.7公斤/标准米<sup>3</sup>。气田煤气从地层深处引出时,由于受到地壳内部压力的作用,常具有很高的压力,所以便于用管道直接输送。油田煤气是在开采石油时伴生的可燃气体,含甲烷量一般为75~87%,重度在0.6~0.8公斤/标准米<sup>3</sup>的范围内,它是随石油引出井外后分离出来的,故其压力较低。每吨油可伴生煤气30~300标准米<sup>3</sup>之间。

天然气与燃油一样,具有易于燃烧,对环境污染较小等优点而普遍受到欢迎。

## 第二章 锅炉的发展

锅炉，顾名思义是由锅和炉两者组成的。钢精锅和煤球炉是家庭锅炉的最好说明，而工业锅炉，则把锅和炉有机地结合在一起而成为一个整体。锅是指的装水部分，它负责吸收热量使水加热或变为水蒸汽；炉是指的燃料在其中燃烧放出热量的那一部分装置。根据锅和炉的发展，可以把锅炉分为各种不同的类型。

### 一、锅

**1.自然循环的锅炉** 锅内装水，利用炉子燃烧所发出的热量使水加热，这就是锅炉的基本原理。那么，锅内的水是如何被加热的呢？你可以做一个简单的试验：当煤球炉上水壶的水刚沸腾时，你立即把壶提起来摸一下壶底，会感到壶底的温度并不十分烫手。这是什么道理呢？原来水与其它液体一样具有热轻冷重的特性（注意：水在 $4^{\circ}\text{C}$ 时比重最大），当壶底被加热时，被加热的水上升，而温度较低的水下降，从而造成强烈的对流，最终使水被烧开。当壶面的水刚开始沸腾时，壶底的水温却仍然不太高，所以并不太烫手（见图2）。小型火管锅炉的加热过程基本上属于这种类型（见图3）。这种锅炉的特点是水的容积很大，需有很大的锅筒，但是受热面积却很有限，仅为火筒的表面积，因此吸热量受到限制，锅



炉的蒸发量很小。

此后，人们发现把锅做成一根根水管，这样就可以大大增加受热面积，提高锅炉的出力。但是，每一根水管很细，如果还允许水在管中上下无组织的翻滚，那显然是不可能的。因此人们把水管分成上升管和下降管两部分，这如同在公共场所设置出口和入口，以避免相互拥挤的道理一样，使冷水和热水各走各的道而不互相干扰（见图4）。下降管布置在锅炉的

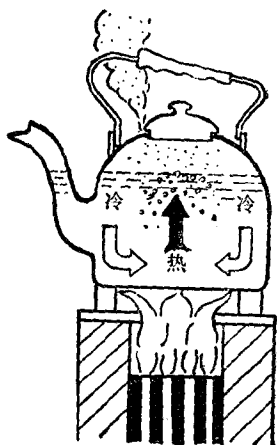


图 2

炉墙之外，不吸收热量，而上升管则布置在炉膛内。上升管内的水被加热后产生部分蒸汽，蒸汽的重度很小，所以在上升管内汽、水混合物的重度比下降管内水的重度要小得多，

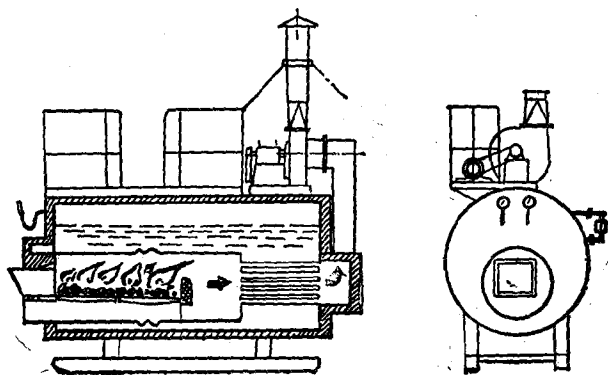


图 3