

锅炉和热流加热器

1. 简介.....	1
2. 锅炉类型.....	2
3. 对锅炉的评估.....	9
4. 提高能源效率的可能性	26
5. 方案清单.....	31
6. 工作表和其他工具	35
7. 参考文献.....	40

1. 简介

本章简单介绍锅炉和锅炉间内的各种辅助设备。

锅炉是将燃烧热传递给水，使水变成热水或蒸汽的封闭式的容器。然后热水或加压蒸汽就可以用来将热能传递到工艺中。水是一种有用而廉价的将热传递给工艺的媒介。水沸腾之后，体积将膨胀约1600倍，产生的力几乎相当于炸药的爆炸力那么大。因此，对待锅炉必须极度地小心。

锅炉系统由以下部分组成：给水系统、蒸汽系统和燃料系统。**给水系统**为锅炉提供水，并根据蒸汽的需求量自动调节给水量。**蒸汽系统**收集并控制锅炉产生的蒸汽。蒸汽通过一套管道系统引导到用汽点。在整个蒸汽系统中，蒸汽压力通过阀门进行调节，并通过蒸汽压力计进行检测。**燃料系统**包括所有用于提供产生热量所需的燃料的设备。燃料系统所需的设备取决于系统所用的燃料类型。

供给锅炉转化为蒸汽的水叫做**给水**。给水的两个来源是：(1)回流到工艺的**冷凝水**或**冷凝水蒸气**；(2)补充水(经过处理的生水)。补充水一定来自锅炉间和电站工艺之外。为提高锅炉效率，通常先通过省煤器用烟气中的废热预热给水。

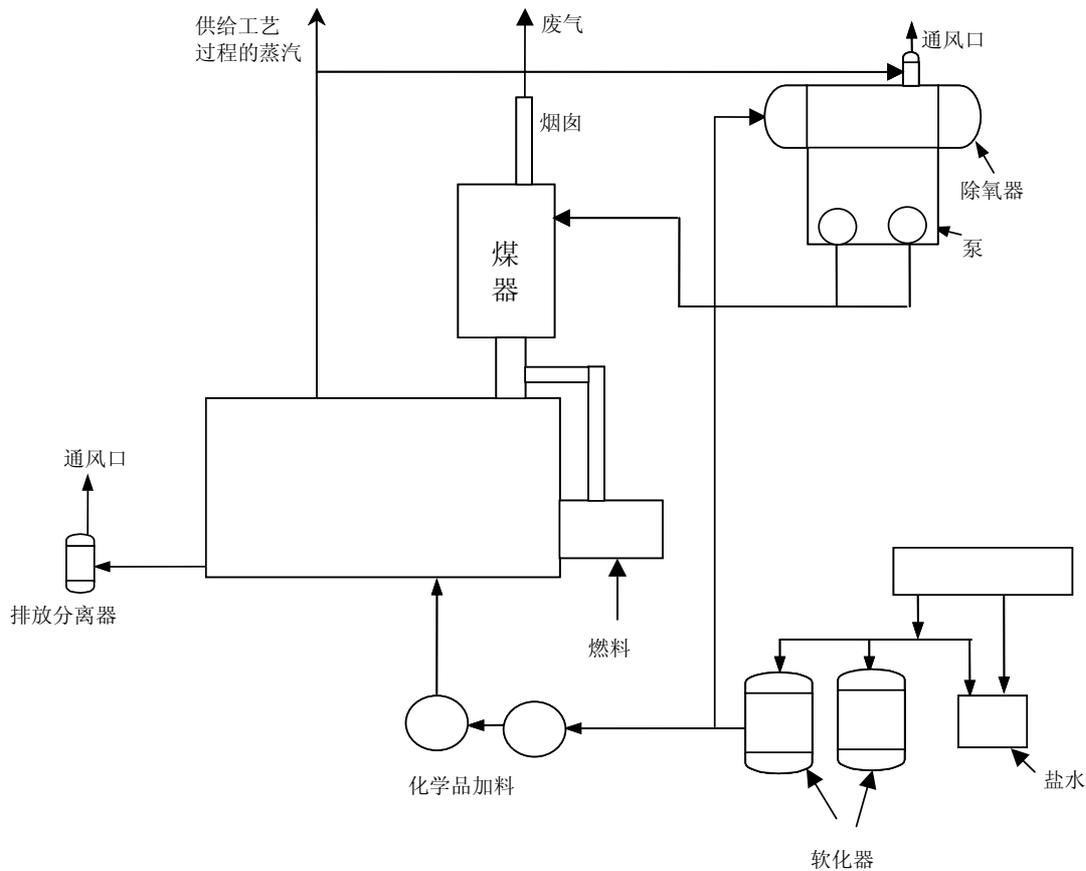


图 1. 锅炉间原理图

2. 锅炉类型

本节介绍各种类型的锅炉：火管锅炉，水管锅炉，整装式锅炉，流化床燃烧锅炉，常压流化床燃烧锅炉，正压流化床燃烧锅炉，循环流化床燃烧锅炉，机械加煤锅炉，粉状燃料锅炉，废热锅炉和热流加热器。

2.1 火管锅炉

在火管锅炉中，热气体通过火管，将锅壳内的锅炉给水转化为蒸汽。火管锅炉通常用于生产容量较小、低压到中压的蒸汽。通常，火管锅炉的蒸汽容量最高可到 12,000 kg/小时，蒸汽压力最高可达 18kg/cm²。火管锅炉可以使用油、气或固体燃料。由于经济的原因，大多数火管锅炉都是“整装”的(也就是

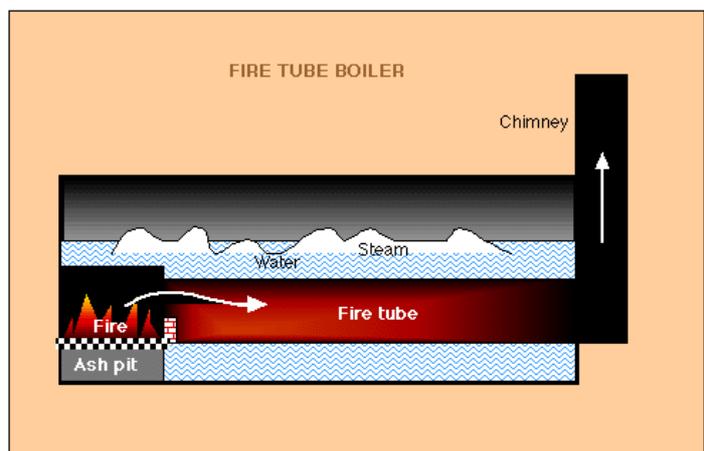


图 2. 火管锅炉剖面图
(轻轨交通协会)

由制造商负责安装), 可以使用任何燃料。

2.2 水管锅炉

在水管锅炉中, 锅炉给水流经管道, 进入锅炉包。循环水被燃烧气体加热, 在锅炉包内的蒸汽空间转化为蒸汽。水管锅炉适用于蒸汽消耗量和压力需求较高的情况, 如同时提供工艺用汽和发电用汽的锅炉。

大部分现代水管锅炉的设计蒸汽容量都在 4,500 – 120,000 kg/小时, 产生的蒸汽压力都很高。很多燃油和/或燃气燃料的水管锅炉都采用“整装”方式。固体燃料水管锅炉也可以设计, 但采用整装式没有燃油或燃气锅炉普遍。

水管锅炉主要有以下特点:

- 强制、诱导和平衡送风, 有利于提高燃烧效率。
- 对水质的耐受性较差, 需要配套建立水处理工厂。
- 热效率水平可能更高。

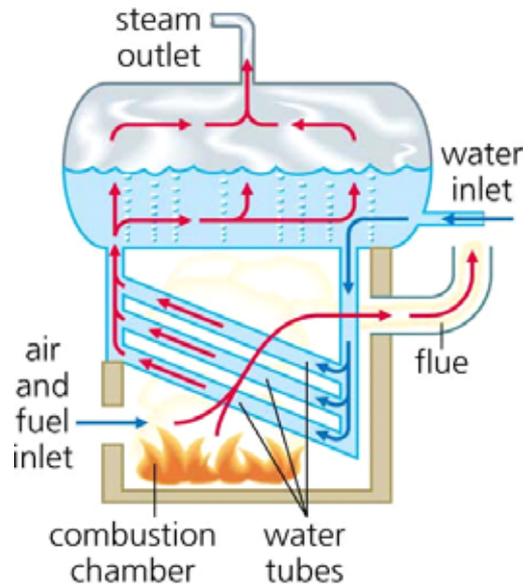


图 3.水管锅炉示意图
(YourDictionary.com)

2.3 整装式锅炉

这种锅炉之所以称为“整装式锅炉”, 是因为它是一整套设备提供和安装的。整装锅炉运抵现场后, 只需要与蒸汽、水和燃料管线以及电力线路对接好就可以开始运转。整装式锅炉通常都是锅壳式火管锅炉, 以便达到最高的辐射和对流热量传输率。

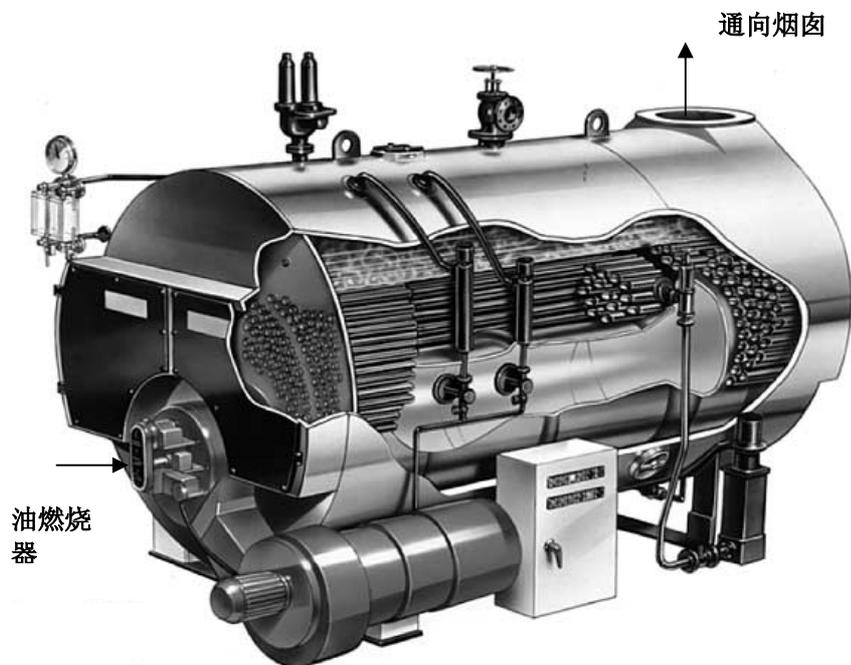


图 4.一台典型的 3 烟道燃油整装锅炉
(Spirax Sarco)

整装式锅炉的特点有：

- 燃烧空间小，放热率高，从而使蒸发更迅速。
- 大量小直径管道使对流热交换更充分。
- 强制或诱导送风系统使燃烧效率更高。
- 烟道的数量使总传热效率更高。
- 与其他锅炉相比，整装式锅炉的热效率更高。

这类锅炉是根据烟道的数量——炽热燃烧气体通过锅炉的次数——来分类的。燃烧室被视为第一个烟道，在其后可能还有一至三套火管。此类锅炉中最常见的锅炉是3通型机组，有两套火管，废气从锅炉尾部排出。

2.4 流化床燃烧(FBC)锅炉

流化床燃烧(FBC)是近年出现的一个可行的替代方案，它与传统的燃烧系统相比有很大的优势，并且能够带来多方面的效益——锅炉设计紧凑，燃料选择灵活，燃烧效率更高，SO_x和NO_x等有毒污染物排放量更小。这类锅炉可以用煤、洗涤废物、稻壳、甘蔗渣以及其他农业废物做燃料。流化床燃烧锅炉的蒸汽容量范围很宽，小至0.5吨/小时，大到100吨/小时以上。

当均匀分布的空气或气体以低速通过一个细孔筛上的极细的固体颗粒，如沙粒，固体颗粒静止不动。当空气流速逐渐增大到某种程度，每一个固体颗粒都悬浮在气流中，这时这个沙粒床就成为“流化”了。

随着空气流速进一步增大，就会形成气泡，激烈湍流，迅速混合，并形成密度一定的床面。这个固体颗粒床的性质近似沸腾的液体，并呈现出流体的外观——“鼓泡流化床”。

当流化状态下的沙粒被加热到煤的着火温度，将煤连续喷射进流化床，煤将迅速燃烧，流化床将达到一个均匀的温度。流化床燃烧(FBC)在840°C到950°C之间发生。由于这个温度远远低于灰熔点，煤灰熔化及其相关问题可以避免。

由于在流化床中，煤粉和空气混合充分，且通过床内的传热管和床壁抽出热量的效率更高，因此流化床的传热系数较高，从而使燃烧温度更低。气体速度维持在最低流化速度和将颗粒带走的速度之间。这既能保证流化床的稳定运行，又能避免颗粒被气流带走。

2.5 常压流化床燃烧(AFBC)锅炉

此类锅炉中最实用的锅炉是常压流化床燃烧锅炉(AFBC)。在传统的锅壳式锅炉内加装一个流化床燃烧器即可改装成这种锅炉。在传统的水管锅炉内也可以安装类似的系统。

根据煤的品级以及加入燃烧室的燃料类型，煤被粉碎为粒径 1 – 10 mm 的颗粒。作为流化和燃烧空气的常压空气被燃料废气预热后，在一定的压力下输送到燃烧室。流化床内的输水管道通常担当蒸发器的作用。燃烧的气体产物(锅炉过热段忽略不计)流经省煤器、集尘器和空气预热器，然后被排放到大气中。

2.6 正压流化床燃烧(PFBC)锅炉

在正压流化床燃烧(PFBC)锅炉中，压缩机提供正压送风空气，燃烧器是一个压力容器。流化床的放热率和其压力成比例，因此使用厚层流化床来抽出大量的热。这将提高流化床的燃烧效率和二氧化硫吸收率。蒸汽在两组管束中产生，一组在流化床中，一组在流化床的上方。热烟气驱动动力燃气轮机。PFBC 系统可以用于热点联产(蒸汽和电力)或联合循环发电。联合循环(燃气轮机和蒸汽轮机)可使总体转换效率提高 5 至 8 个百分点。

2.7 常压循环流化床燃烧锅炉(CFBC)

在循环系统中，通过控制流化床的参数，促进固体颗粒的析。固体颗粒以一个较稀的状态从固体上升管中被提升，而装配了一台旋风器的下降管则为固体提供了一条返回路径。在常压循环流化床中没有埋设蒸汽发生管。蒸汽的发生和过热发生在上升管出口处的对流段，即水冷壁。

在用汽量 75 – 100 吨/小时的工业应用中，常压循环流化床燃烧(CFBC)锅炉通常比常压流化床燃烧(AFBC)锅炉经济性更高。对于大型机组，CFBC 锅炉更大的锅炉能够提供更高的空间利用率，更长的燃料颗粒和吸着剂驻留时间，有利于高效燃烧和SO₂捕获，而且比AFBC蒸汽发电机更易于应用分级燃烧技术从而控制NO_x。

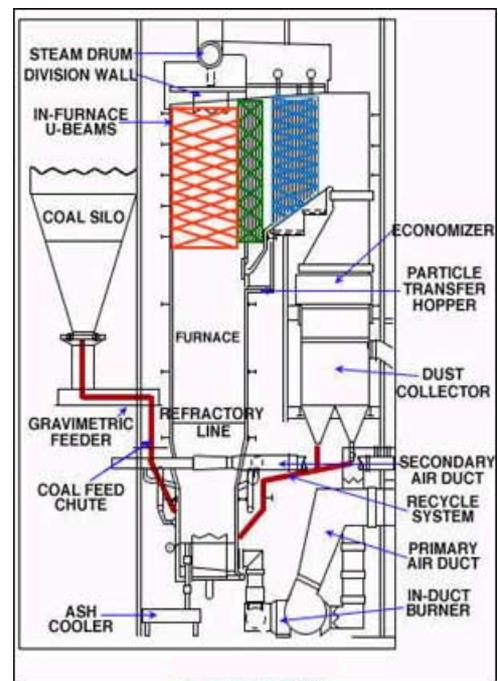


图 5. CFBC 锅炉
(Thermax Babcock & Wilcox Ltd, 2001)

2.8 机械加煤锅炉

加煤器根据向锅炉中添加燃料的方法和炉排的类型进行分类。炉排的类型主要有抛煤机炉排和链条炉排。

2.8.1 抛煤机炉排加煤器

抛煤机炉排采用火室燃烧和炉排燃烧两种燃烧方式。煤从燃烧层的上方连续送入炉膛。煤的细小颗粒呈悬浮状燃烧；大的煤颗粒则落到炉排上，以一层薄的快速燃烧煤层进行燃烧。这种燃烧方式为满足负荷变化提供了很好的灵活性，因为当燃烧速度升高时点火几乎是瞬时完成的。因此，在很多工业应用中，抛煤机炉排比其他类型的加煤器应用得更加广泛。

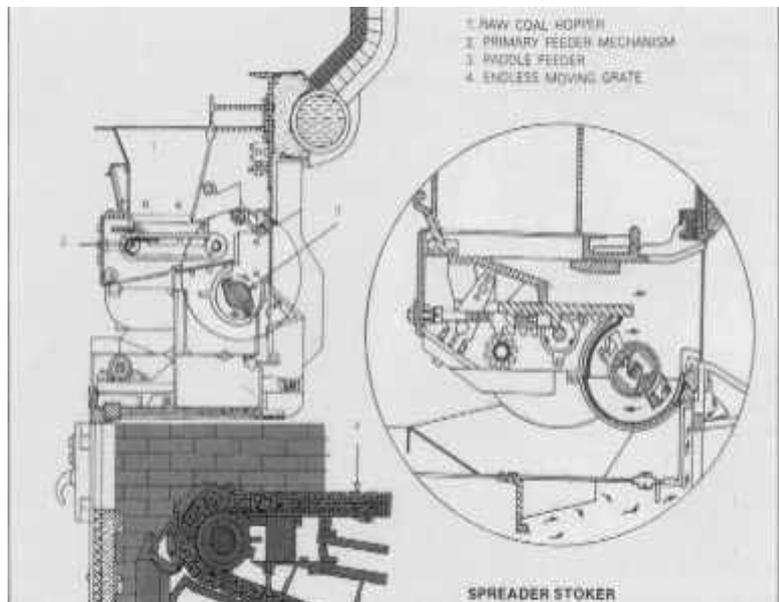


图 6. 抛煤机炉排锅炉
(煤炭部, 1985)

2.8.2 链条炉排加煤器

在链条炉排加煤器中，煤被加入运动的铁制炉排一端。当炉排沿炉膛运动时，煤进行完全燃烧，剩余的煤灰从炉排末端排出。链条炉排加煤器需要一定程度的技术，特别是在设定炉排、节气门和挡板，以确保清洁燃烧，使煤灰中残留的未燃烧的碳维持在最少的水平。

给煤斗在锅炉的整个给煤端运动。为了控制给锅炉加煤的速度，需要用一个给煤闸门来控制燃料床的厚度。煤的颗粒大小必须统一，因为大的块煤可能在到达炉排末端时还没有燃烧完全。

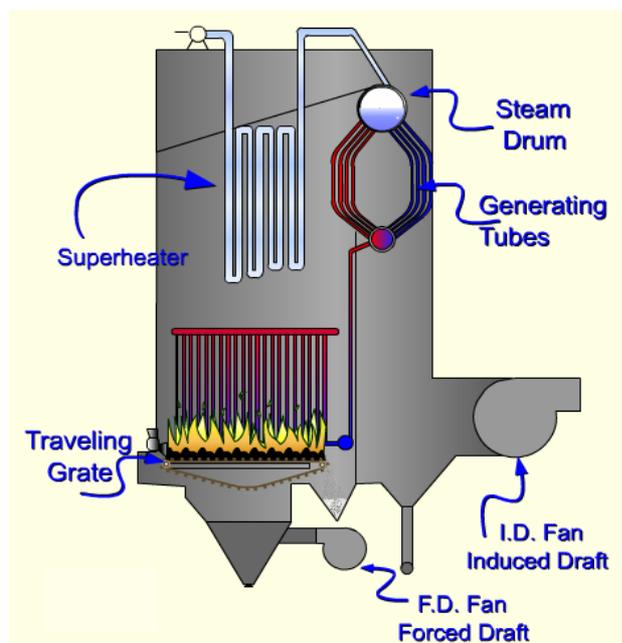


图 7. 链条炉排锅炉简图
(密苏里大学, 2004)

2.9 粉状燃料锅炉

大部分以煤为燃料的电站锅炉都用煤粉做燃料，很多大型工业用水管锅炉也采用这种粉状燃料。该技术已经非常成熟，在全世界有几千台机组，占全世界煤发电装机容量的90%多。

煤被研磨成细粉状，对于烟煤，2%的颗粒粒径在300微米(μm)以上，70%到75%的颗粒粒径在75微米以下。需要注意的是，如果煤粉研磨过细，则会使磨煤机浪费电能。另一方面，如果研磨得过于粗糙，那么煤粉在燃烧室中则不能完全燃烧，从而造成较高的煤粉损失。

煤粉通过一系列的喷嘴，随着一部分燃烧空气喷入锅炉装置。此外，可能还需要加入二级和三级空气。燃烧在1300-1700 °C的温度范围内发生，主要取决于煤的品级。煤颗粒在锅炉内的驻留时间通常在2至5秒，因此颗粒必须足够小，以确保在这段时间内能够完全燃烧。

此系统有很多优点，例如能够适应的煤的品级范围广，对荷载变化反应迅速，利用预热空气的高温等等。

采用煤粉燃料最流行的系统之一是切圆燃烧，它在锅炉的四个角上布置四台燃烧器，从而在锅炉的中央形成一个火球。

2.10 废热锅炉

只要有高温或中温的废热的地方，就可以安装废热锅炉，安装的成本也不是很高。当废热产生的蒸汽量不能满足蒸汽需求时，还可以使用替代燃料燃烧器。如果不需要直接使用蒸汽，则可将蒸汽用于蒸汽轮机产生电能。废热锅炉广泛用于从燃气轮机和柴油发动机的废气中回收废热。

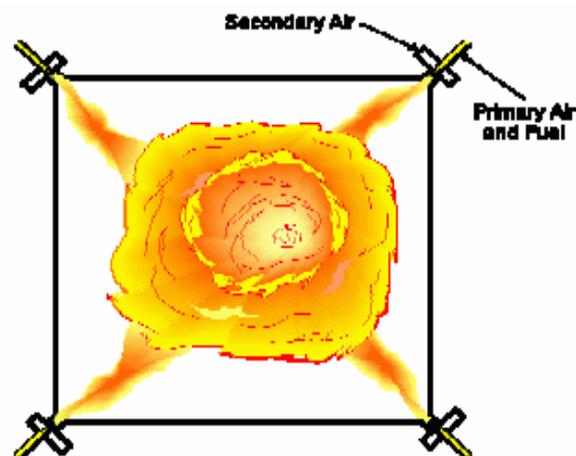


Figure 8: 粉状燃料切圆燃烧 (参考文献不详)

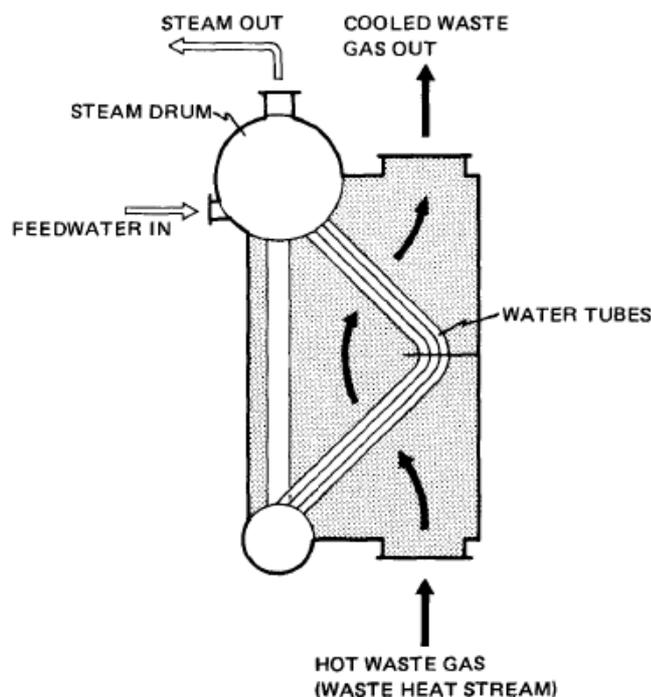


图 9: 废热锅炉简图 (加拿大农业和农产品局, 2001)

2.11 热流加热器

近年来，热流加热器在间接工艺加热上应用很广泛。这种加热器采用石油基流体为传热介质，能够为用户设备提供稳定不变的温度。热流加热器的燃烧系统由固定式炉排和机械通风装置组成。

现代的燃油热流加热器采用双环流、三烟道架构，并安装了一套可调式压力喷油系统。作为导热体的热流体在加热器中被加热后，在用户设备中循环。在用户设备中，热流体通过换热器将热量传给工艺过程，然后返回加热器。热流体在用户端的流动由气动控制阀根据运行温度进行控制。返回加热器的油的温度随系统荷载的变化而变化，它决定加热器以低火还是高火运行。

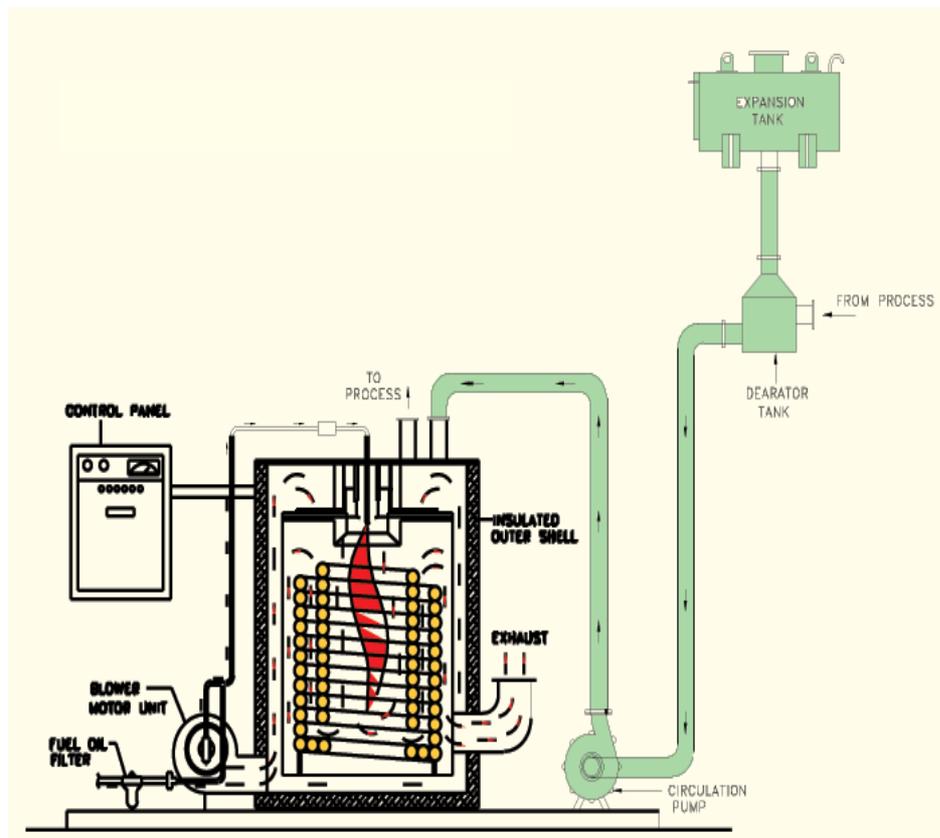


图 10. 热流加热器的典型结构
(印度能源机械部)

热流加热器的优点有：

- 闭合回路运行，与蒸汽锅炉相比，热损耗极低。
- 即使在 250 °C 左右的温度下，也能够常压运行，而在相似的蒸汽系统中，则需要 40 kg/cm² 的蒸汽压力。
- 自动控制调试，操纵灵活。
- 较高的热效率，因为由排污、冷凝排水和扩容蒸汽造成的损耗在热流加热器系统中都不存在。

热流加热器的总体经济性取决于具体的用途和参照基准。以煤为燃料的、热效率在 55-65 之间的热流加热器与大部分锅炉相比都具有优势。在烟道中安装热量回收装置可以进一步提高热效率。

3. 对锅炉的评估

本节介绍对锅炉(通过直接或间接方法，包括用于效率计算的实例)、锅炉排污和锅炉水处理的性能评估。

3.1 锅炉性能评估

由于燃烧不充分、传热面结垢、操作和维护不当等原因，锅炉的性能参数，如效率和蒸发率，会随着时间的推移而衰减。即使是新锅炉，不断下降的燃料品质和水质等原因也会造成锅炉性能低下。热平衡能够帮助我们确定可以避免和不可避免的热损耗。锅炉效率测试可以帮助我们找出锅炉效率与最佳效率的偏差，并为改进确定问题的区域。

3.1.1 热平衡

锅炉中的燃烧过程可以用一个能流图来描述。该图以图形表示来自燃料的能量输入，是如何转化为各种有用的能量流以及热与能的损失流的。箭头的宽度表示相应的能量流中的能量总量。

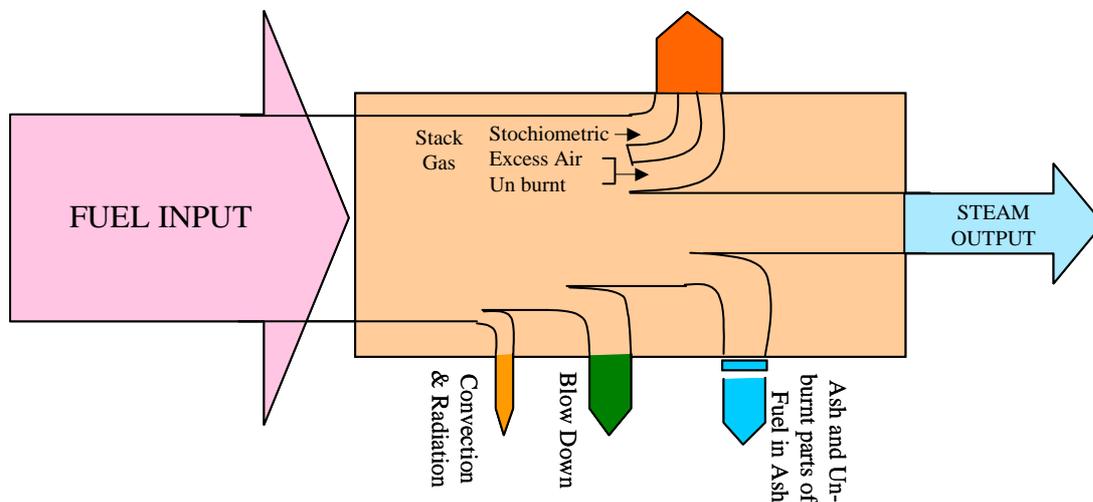


图 11. 锅炉能量平衡图

热量平衡描述进入锅炉的总能量和以各种形式离开锅炉的总能量的平衡。下图描述了在蒸汽产生过程中发生的各种能量损失。

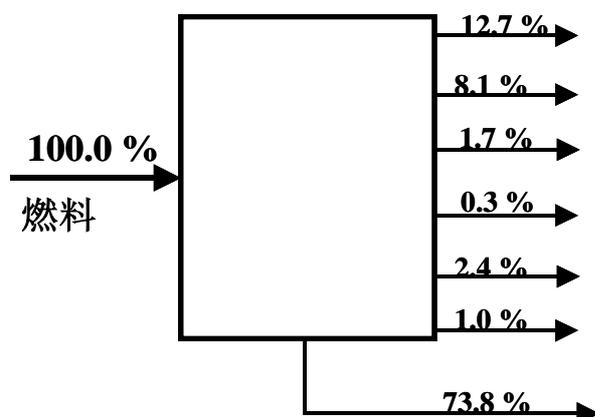


图 12. 燃煤锅炉典型的热量损失

锅炉的能量损失可以分为不可避免和可避免的损失。清洁生产和/或能源评估的目的就是要减少可避免的损失，也就是提高能源效率。以下损失是可以避免或降低的：

- 烟气损失：
 - 过量空气 (依靠燃烧器技术、运行、操作(即控制)和维护，将过量空气降低到必须的最低水平)。
 - 烟气温度 (通过优化维护(清理)和荷载，改进燃烧器和锅炉技术降低烟气温度)。
- 烟气和煤灰中未完全燃烧的燃料造成的损失(优化操作和维护，改进燃烧器技术)。
- 排污损失 (处理锅炉给水，回收冷凝水)。
- 冷凝水损失 (最大限度地回收冷凝水)。
- 对流和辐射损失 (改进锅炉保温)。

3.1.2 锅炉效率

锅炉热效率的定义是“能够有效用于产生蒸汽的热能占总能量的百分比”。

评估锅炉效率有两个方法：

- 直接法：比较工作流体(水和蒸汽)获得的能量与锅炉燃料的含能量。
- 间接法：锅炉效率即锅炉能量损失和能量输入量的差值。

3.1.3 直接法确定锅炉效率

方法

此方法也可称为“输入-输出法”，因为它只需要有效输出(蒸汽)和热量输入(即燃料)即可计算锅炉效率。锅炉效率可用下面的公式计算：

$$\text{锅炉效率 } (\eta) = \frac{\text{热量输出}}{\text{热量输入}} \times 100$$

$$\text{锅炉效率 } (\eta) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times \text{GCV}} \times 100$$

直接法计算锅炉效率需要检测的几个参数是：

- 每小时产生的蒸汽量(Q)，单位 kg/hr。
- 每小时消耗的燃料量(q)，单位 kg/hr。
- 工作压力(单位 kg/cm²(g))和过热温度(oC)，如果有过热温度。
- 锅炉给水温度(oC)
- 燃料的类型以及燃料的总热值(GCV)，单位 kcal/kg 燃料。

其中

- h_g – 饱和蒸汽的焓，单位kcal/kg蒸汽。
- h_f – 给水的焓，单位kcal/kg给水。

实例

根据以下数据，用直接法计算锅炉的效率：

- | | |
|---------------------------------|--|
| ▪ 锅炉类型： | 燃煤锅炉 |
| ▪ 蒸汽(干燥)发生量： | 10 TPH |
| ▪ 蒸汽压力(压力表) / 温度： | 10 kg/cm ² (g) / 180 ⁰ C |
| ▪ 煤炭消耗量： | 2.25 TPH |
| ▪ 给水温度： | 85 ⁰ C |
| ▪ 煤的总热值(GCV)： | 3200 kcal/kg |
| ▪ 10 kg/cm ² 压力蒸汽的焓： | 665 kcal/kg (饱和) |
| ▪ 给水的焓： | 85 kcal/kg |

$$\text{锅炉效率 } (\eta) = \frac{10 \times (665 - 85) \times 1000}{2.25 \times 3200 \times 1000} \times 100 \% = 80.56\%$$

热能设备：锅炉和热流加热器

直接法的优点：

- 电站工人可以迅速计算出锅炉效率
- 用于计算的参数很少
- 需要用于监测的仪器很少
- 易于将蒸发率与基准数值进行比较

直接法的缺点：

- 无法给操作员提供确定系统效率变低的原因的依据
- 无法计算造成各种效率水平的各种损失量

3.1.4 间接法确定锅炉效率

方法

用间接法测试锅炉的参考标准是英国标准 *BS845:1987* 和美国标准 *ASME PTC-4-1 动力试验规程蒸汽发生单元*。

间接法也称为热损失法。锅炉的效率可以通过用 100 减去热损失比率进行计算，即：

$$\text{锅炉效率 (n)} = 100 - (\text{i} + \text{ii} + \text{iii} + \text{iv} + \text{v} + \text{vi} + \text{vii})$$

其中，锅炉中发生的本质性的损失是由于以下原因造成的热量损失：

- i. 干烟气
- ii. 燃料中的H₂形成的水的蒸发
- iii. 燃料中水分的蒸发
- iv. 燃烧空气中存在的水分
- v. 飞灰中未完全燃烧的燃料
- vi. 炉底渣中未完全燃烧的燃料
- vii. 热辐射以及其他无法计算的损失

燃料中的水分和氢气燃烧造成的损失是由燃料的性质造成的，无法通过锅炉设计来控制。

用间接法计算锅炉效率需要的数据有：

- 燃料元素分析 (H₂, O₂, S, C, 水分, 灰分)
- 烟气中的氧气或CO₂百分比
- 烟气温度，单位 °C (T_f)
- 环境温度，单位 °C (T_a)，以及空气湿度，单位kg/kg干燥空气
- 燃料总热值，单位 kcal/kg
- 煤灰中的可燃物百分比(使用固体燃料的情况下)
- 煤灰总热值，单位kcal/kg (使用固体燃料的情况下)

热能设备：锅炉和热流加热器

下面给出用间接法计算锅炉效率的详细步骤。不过，工业能源管理者在实际操作中通常倾向于更简单的计算方法。

步骤 1：计算理论空气需求量

$$= [(11.43 \times C) + \{34.5 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4.32 \times S)]/100 \text{ kg/kg 燃料}$$

步骤 2：计算提供的过量空气的百分比 (EA)

$$= \frac{O_2 \text{ 百分比} \times 100}{(21 - O_2 \text{ 百分比})}$$

步骤 3：计算为每千克燃料提供的空气的实际质量 (AAS)

$$= \{1 + EA/100\} \times \text{空气的理论质量}$$

步骤 4：估算所有的热量损失

- i. 由干烟气损失的热量的比例

$$= \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100}{\text{燃料总热值}}$$

其中， m = 干烟气的质量，单位 kg/kg 燃料

m = (每 1kg 燃料燃烧产生的干燥产物质量) + (每 1kg 燃料中的 N₂ 质量) + (工给的空气实际质量中的 N₂ 质量).

C_p = 烟气的比热(0.23 kcal/kg)

- ii. 由燃料中的 H₂ 形成的水蒸发所造成的热量损失所占的比例

$$= \frac{9 \times H_2 \{584 + C_p (T_f - T_a)\} \times 100}{\text{燃料总热值}}$$

其中， H_2 = 1kg 燃料中 H₂ 的比例

C_p = 过热蒸汽的比热(0.45 kcal/kg)

- iii. 燃料中的水分蒸发所造成的热量损失所占的比例

$$= \frac{M \{584 + C_p (T_f - T_a)\} \times 100}{\text{燃料总热值}}$$

其中， M = 1kg 燃料中水分的比例

C_p = 过热蒸汽的比热(0.45 kcal/kg)

热能设备：锅炉和热流加热器

- iv. 空气中的水分造成的热量损失所占的比例

$$= \frac{\text{AAS} \times \text{湿度系数} \times C_p (T_f - T_a)}{\text{燃料总热值}} \times 100$$

燃料总热值

其中， C_p – 过热蒸汽的比热(0.45 kcal/kg)

- v. 飞灰中未燃烧的燃料造成的热量损失所占的比例

$$= \frac{\text{每燃烧 1kg 燃料收集到的飞灰} \times \text{飞灰的总热值}}{\text{燃料总热值}} \times 100$$

燃料总热值

- vi. 炉底渣中未燃烧的燃料造成的热量损失所占的比例

$$= \frac{\text{每燃烧 1kg 燃料收集到的炉底渣} \times \text{炉底渣的总热值}}{\text{燃料总热值}} \times 100$$

燃料总热值

- vii. 由于热辐射造成的热损失和其他无法计算的热损失所占的比例

由于不同表面的热辐射系数、倾斜度和空气流类型等不同，实际的辐射和对流热损失很难计算。在一台容量为10MW的较小的锅炉中，由辐射造成的损失和其他无法计算的损失一般占燃料总热值的1%到2%，而在一台500MW的锅炉中，这部分损失一般占燃料总热值的1%到2%。辐射损失可以根据表面的情况进行适当的估算。

步骤 5：计算锅炉效率和锅炉蒸发率

锅炉效率 (n) = 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)

蒸发率 = 用于产生蒸汽的热量/供给蒸汽的热量

蒸发率表示每消耗 1kg 燃料所产生的蒸汽的质量。一些典型的蒸发率：

- 燃煤锅炉：6 (即 1kg 煤可以产生 6kg 蒸汽)
- 燃油锅炉：13 (即 1kg 油可以产生 13kg 蒸汽)

不过，蒸发率还受锅炉的类型、燃料的热值和相关的效率影响。

实例

- 锅炉类型：燃油锅炉
- 油的元素分析
 - C: 84 %
 - H₂: 12.0 %
 - S: 3.0 %
 - O₂: 1 %

热能设备：锅炉和热流加热器

- 油的总热值：10200 kcal/kg
- 氧气的比例：7 %
- CO₂的比例：11 percent
- 烟气温度(T_f): 220 °C
- 环境温度(T_a): 27 °C
- 空气湿度：0.018 kg/kg 干燥空气

步骤 1：计算理论空气需求量

$$\begin{aligned} &= [(11.43 \times C) + \{34.5 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4.32 \times S)]/100 \text{ kg/kg 油} \\ &= [(11.43 \times 84) + \{34.5 \times (12 - 1/8)\} + (4.32 \times 3)]/100 \text{ kg/kg 油} \\ &= 13.82 \text{ kg 空气/kg 油} \end{aligned}$$

步骤 2：计算供给的过量空气比例(EA)

$$\begin{aligned} &\text{供给的过量空气(EA)} \\ &= (O_2 \times 100)/(21-O_2) \\ &= (7 \times 100)/(21-7) \\ &= 50\% \end{aligned}$$

步骤 3：计算为每 1kg燃料供给的空气质量(AAS)

$$\begin{aligned} \text{AAS/kg 燃料} &= [1 + EA/100] \times \text{理论空气质量 (AAS)} \\ &= [1 + 50/100] \times 13.82 \\ &= 1.5 \times 13.82 \\ &= 20.74 \text{ kg 空气/kg 油} \end{aligned}$$

步骤 4：估算总的热量损失

- i. 由于烟气造成的热量损失所占的比例

$$= \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100}{\text{燃料总热值}}$$

$$m = \text{CO}_2 \text{ 质量} + \text{SO}_2 \text{ 质量} + \text{N}_2 \text{ 质量} + \text{O}_2 \text{ 质量}$$

$$m = \frac{0.84 \times 44}{12} + \frac{0.03 \times 64}{32} + \frac{20.74 \times 77}{100} \quad (0.07 \times 32)$$

$$m = 21.35 \text{ kg / kg 油}$$

热能设备：锅炉和热流加热器

$$\begin{aligned} &= \frac{21.35 \times 0.23 \times (220 - 27)}{10200} \times 100 \\ &= 9.29\% \end{aligned}$$

也可以用更简单的方法：由于烟气造成的热量损失所占的比例

$$\begin{aligned} &= \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100}{\text{燃料总热值}} \\ & m \text{ (烟气的总质量)} \\ &= \text{供给空气的实际质量} + \text{供给燃料的质量} \\ &= 20.19 + 1 = 21.19 \\ &= \frac{21.19 \times 0.23 \times (220-27)}{10200} \times 100 \\ &= 9.22\% \end{aligned}$$

ii. 由燃料中的 H₂ 形成的水蒸发所造成的热量损失

$$\begin{aligned} &= \frac{9 \times H_2 \{584 + 0.45 (T_f - T_a)\}}{\text{燃料总热值}} \quad \text{其中 } H_2 = \text{燃料中 } H_2 \text{ 的比例} \\ &= \frac{9 \times 12 \{584 + 0.45(220-27)\}}{10200} \\ &= 7.10\% \end{aligned}$$

iii. 空气中的水分造成的热量损失

$$\begin{aligned} &= \frac{AAS \times \text{湿度} \times 0.45 \times ((T_f - T_a) \times 100)}{\text{燃料总热值}} \\ &= [20.74 \times 0.018 \times 0.45 \times (220-27) \times 100] / 10200 \\ &= 0.317\% \end{aligned}$$

iv. 由于热辐射而造成的热量损失和其他无法计算的损失

热能设备：锅炉和热流加热器

据估算，小锅炉一般是 2%

步骤 5：计算锅炉效率和锅炉蒸发率

锅炉效率 (n) = 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)

i.	干烟气造成的热量损失	: 9.29 %
ii.	燃料中的 H ₂ 形成的水蒸发造成的热量损失	: 7.10 %
iii.	空气中的水分造成的热量损失	: 0.317 %
iv.	热辐射造成的损失和其他无法计算的损失	: 2 %

$$= 100 - [9.29 + 7.10 + 0.317 + 2]$$

$$= 100 - 17.024 = 83\% \text{ (大约)}$$

蒸发率 = 用于产生蒸汽的热量 / 供给蒸汽的热量

$$= 10200 \times 0.83 / (660 - 60)$$

$$= 14.11 \text{ (典型的燃油锅炉的蒸发率是 13)}$$

间接法的优点

- 可以得出每一个能量流的完整的质量和能量平衡，因此更容易确定提高锅炉效率的方案

间接法的缺点

- 比较耗时间
- 需要有用于分析的实验室设施

3.2 锅炉排污

当水沸腾产生蒸汽以后，水中溶解的所有固体物质都会残留在锅炉中。如果更多的固体物质随锅炉给水被添加到锅炉中，它们的浓度就会增大，并且可能最终超过它们在水中的溶解度，它们就会从溶液中沉积出来。浓度超过了一定的水平，这些固体就会造成发泡并造成水被蒸汽带走。沉积物还会使锅炉内结垢，造成局部过热并最终使锅炉管破裂。

因此，必须控制锅炉水中悬浮和溶解的固体物质的浓缩度。这是通过“排污”过程来实现的。在排污过程中，一定量的水被排掉，并由锅炉给水自动替换——从而将锅炉水中的总溶解固体量(TDS)维持在最佳水平，并除掉已经从溶液中析出，将要沉积在锅炉内表面的固体物质。锅炉排污是必须的，它能够保护锅炉内的换热器表面。不过，如果实施不当，锅炉排污可能成为一个重要的热量损失源。

锅炉水采样

锅炉水样只有在能够反应锅炉内部的情况时才是有用的。因此，从玻璃管液面计、外置水位控制室或给水入口连接处附近取的水样都可能很不准确。

从锅炉筒取的水样既不安全也不准确，因为那里的水承受着压力，很大一部分会扩容为蒸汽。因此由水样测量出的总溶解固体量会比从锅炉内部测量的值高。基于这些水样分析结果，通常会排放比必须的量更多的锅炉水。

这个问题的解决办法是用水样冷却器从锅炉中取水。水样冷却器是一个小型换热器，它用冷水来冷却正在被取出的水样，从而消除一切扩容，提高操作员的安全度和水样的准确度。在一些自动化系统中，直接在锅炉筒中安装了一个电导传感器，以便连续监控总溶解固体量(TDS)。使用自动 TDS 控制系统的另一个目的是避免蒸汽荷载变化、冷凝水回收率和补给水质量对取样结果的影响。

3.2.1 电导率，锅炉水质的指示器

由于测量锅炉水中的总溶解固体量是一项非常繁杂和耗时的工作，我们可以通过测量电导率来检测锅炉水中的总溶解固体量。电导率升高表示锅炉给水的“污染物”增多。传统的锅炉排污方法有两个：间歇排污和连续排污。

间歇排污

间歇排污是通过手工操作安装在锅炉筒最低点的排污管上的一个阀门，使各种参数(总溶解固体量或电导率，pH 值，硅酸盐和磷酸盐浓度)降低到规定的范围内，从而使蒸汽质量不至于受到影响。这种排污方法对于除掉已从溶液中析出并沉积在火管和锅筒内表面的固体也是有效的。在间歇排污中，需要短时间开启一个大的径向线路，开启的时间由一个总的规则，如“每 2 分钟一次”，确定。

间歇排污需要锅炉给水量在短时间内大量增加，因此，可能必须安装比用连续排污法时更大的给水泵。此外，总溶解固体量也会变化，从而造成锅炉内水位变化，因为蒸汽泡尺寸和分布会随着固体溶液浓度的变化而变化。另外，大量的热能会随着间歇排污而损失掉。

连续排污

采用连续排污的锅炉，溶解物浓度较高的锅炉水以小水流连续稳定地排出锅炉，并被连续稳定地流入锅炉的补给水替代。此方法确保了在一定的蒸汽荷载下，总溶解固体量和蒸汽纯度保持恒定。根据特定的状态设定好排污阀后，就不需要操作员进行定期调节。

尽管连续排污使大量的热能被排出锅炉，可以通过将怕水喷入扩容器产生扩容蒸汽，从而回收热量。扩容蒸汽可以用于预热锅炉给水。这种排污方式在高压锅炉中很常见。

从扩容器排出的剩余的锅炉排污水仍然含有大量的热能，其中很大一部分还可以通过换热器来加热冷的锅炉补给水，从而进行回收。完整的锅炉排污水热量回收系统，如下图所示，通过提取扩容蒸汽和剩余排污水的能量，可以回收排污水中蕴涵的80%的能量。此系统可以应用于任何尺寸的蒸汽锅炉。这样一套系统的通常在短短几个月之内就可以回收。

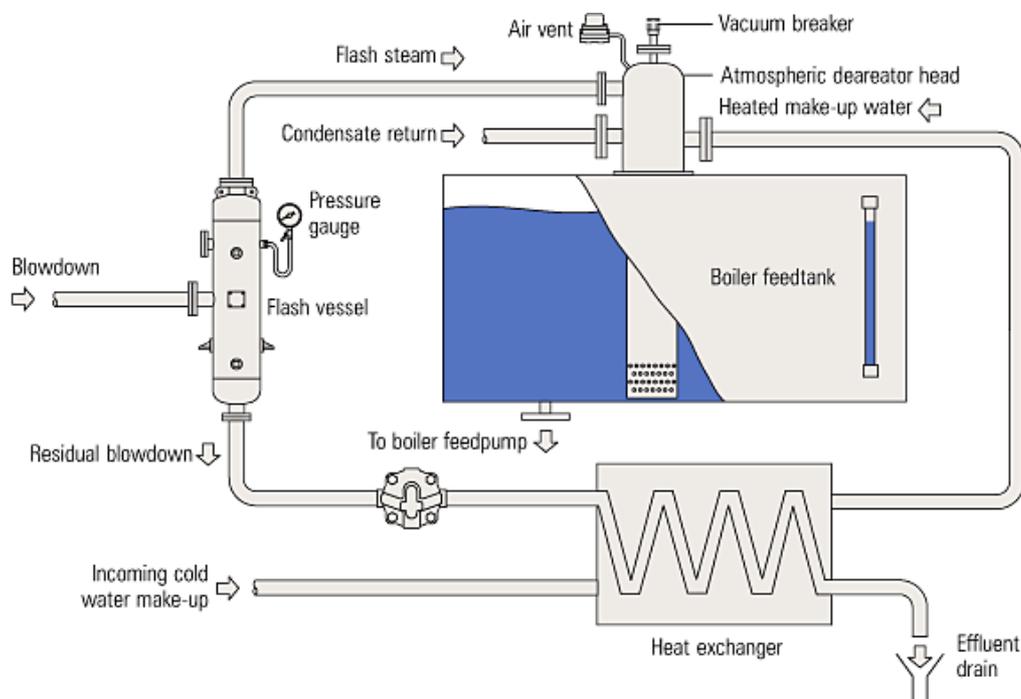


图 13.从锅炉排污水中回收热量图解 (Spirax Sarco)

3.2.2 锅炉排污计算

控制锅炉水溶解固体浓度所需的排污量用下面的公式计算：

$$\text{排污量 (\%)} = \frac{\text{补给水总溶解固体量} \times \% \text{ 补给水百分比}}{\text{锅炉水允许的最大总溶解固体量}}$$

若整装式锅炉允许的最大总溶解固体量为 3000ppm，补给水占总水量的比例为 10%，补给水的总溶解固体量为 300ppm，则排污比例为：

$$\begin{aligned} &= 300 \times 10 / 3000 \\ &= 1\% \end{aligned}$$

若锅炉蒸发率为 3000kg/小时，则需要的排污率为：

$$\begin{aligned} &= 3000 \times 1 / 100 \\ &= 30 \text{ kg/小时} \end{aligned}$$

3.2.3 排污控制的好处

良好的锅炉排污控制能够大大降低水处理和运行成本，包括：

- 预处理成本更低
- 补给水消耗量更少
- 维护停机时间更短
- 锅炉寿命更长
- 水处理化学制剂消耗量更低

3.3 锅炉给水处理

为了产出满足质量要求的蒸汽，需对水处理进行良好的管理，以控制蒸汽纯度，沉积物和腐蚀度。锅炉是锅炉系统的积垢器。它基本上容纳了锅炉前所有的杂质。选择和控制在锅炉给水质量直接影响到锅炉性能，效率和运行时间。

当给水进入到锅炉中时，增加的温度和压力致使水中的不同成分行动不一。给水中的绝大成分是可溶的。然而，在高温高压下大多数可溶成分从溶液中分离出来，变成固体微粒，有时以结晶形式出现，有时以非晶态颗粒形式出现。当某一成分含量超过其在水中的溶解度时，水垢和沉积物就产生了。必须有效地保证锅炉给水不产生固体沉积物，以保证快速有效的热传递，并且必须保证给水对锅炉金属无腐蚀。

3.3.1 控制沉积物

锅炉中的沉积物是由于给水的硬度污染和凝结水以及给水系统中的污染物引起的。给水的硬度污染可能是由水软化系统效率低下引起的。

沉积物和腐蚀物质会导致能量损失，并可能导致锅炉管道失效进而无法产生蒸汽。沉积物就像绝热体一样可减缓热传递。锅炉内大量的沉积物可急剧的降低热传递从而明显的降低锅炉效率。不同类型的沉积物对锅炉效率的影响是不同的。因此有必要分析沉积物的特性。沉积物的绝热保温效应会导致锅炉进上温度上升，从而导致管道过热而失效。

3.3.2 杂质产生沉积物

在锅炉中最能影响沉积物形成的水中的化学物质是钙盐和镁盐，这两者被称为硬盐。

钙和镁的重碳酸盐溶解在水里以形成碱性溶液，这些盐类具有碱性硬度。它们遇热会分解，释放出二氧化碳并沉淀后形成软泥。这些由钙镁重碳酸盐引起的硬度被称为暂时硬度—硬度，因为水煮沸后，这些物质就会分解消失。

钙和镁的硫酸盐，氯化物和硝酸盐等溶解在水里，呈化学中性，是非碱性硬度。这些物质被称为永久性硬度化学物质，能在锅炉表面形成坚硬的水垢，这些水垢很难去除掉。非碱性硬度的化学物质在温度上升后，溶解度下降，使得它们从溶液中凝结出来，在锅炉中由于蒸发的作用而浓缩起来，或是产生化学变化而变成更难溶的化合物。

3.3.3 硅

热能设备：锅炉和热流加热器

锅炉给水中的硅可导致形成坚硬的硅垢。硅也可以和钙盐和镁盐反应，生产导热率很低的钙和镁的硅酸盐。硅由蒸汽中的小水滴运送或在高压蒸汽中以挥发分形式进入汽机后，可在汽机的叶片上形成沉积物。

锅炉给水处理的两大方式是内部水处理和外部水处理。

3.3.4 内部水处理

内部处理包括锅炉加药以阻止水垢的形成。形成水垢的化合物被转化为可自由流动的软泥，通过排污去除掉。该方法只限于锅炉在给水的硬度盐分较低，可允许较低的给水压力和较高的TDS含量，并只有少量的水需要处理的情况下使用。如果不能满足以上条件，就需要大量的排污以去除软泥。从热损失和水损失的角度来看，这是不经济的。

不同的水源需要不同化学剂。可使用的化学剂有碳酸钠，铝酸钠，磷酸钠，亚硫酸钠和植物化合物和无机化合物。有各种专利化学品适用于不同的水况。在每个工况下，都必须咨询专家以决定哪些是最适用的化学剂。仅仅只采用内部水处理是不可取的。

3.3.5 外部水处理

外部水处理是用来去除悬浮颗粒，溶解固体（特别是形成水垢的罪魁祸首—钙镁离子）以及溶解气体（氧气和二氧化碳）。

外部水处理过程分为：

- 离子交换
- 除氧（机械除氧和化学除氧）
- 反渗透
- 除盐

在进行以上任何步骤之前，必须去除水中的悬浮物质和色素，因为这些物质可能会使接下来的处理过程中使用的树脂中毒。

预处理方式包括在澄清池里简单的沉淀一下，或在净化池里加入凝结剂和凝聚剂后澄清。带有喷射通风的可去除二氧化碳和铁的压力砂滤池可用来去除井水中的金属盐。

水处理的第一阶段是去除硬度盐和可能的非硬度盐。仅去除硬度盐称为软化，将溶液中的盐类全部去掉称为除盐。

外部水处理过程表述如下。

离子交换过程（软化车间）

在离子交换过程中，当水通过天然沸石床或合成树脂床时，硬度被消除了，并不会产生任何沉淀物。这种最

软化反应：



再生反应：



热能设备：锅炉和热流加热器

简单的方式是“碱离子交换法”，在该交换中，钙镁离子被交换为钠离子。在之后的饱和再生过程中，钙镁离子又与氯化钠反应。钠盐是可溶的，在锅炉中不会产生水垢。由于碱性离子交换器只是用钠取代钙和镁，因此它没有降低TDS含量和锅炉排污量，也没有降低碱度。

除盐是将所有的盐类去除掉。这是通过使用“阳离子”树脂达到的，它通过在水中用氢离子交换阳离子，生成盐酸，硫酸和碳酸。在除气塔中，通过在酸液中鼓风将碳酸去掉。之后，水通过一个“阴离子”树脂，使得阴离子和无机酸交换（如硫酸），并生成水。不时的需要进行阳离子和阴离子的再生，再生过程主要分别使用无机酸和烧碱。可以通过正确的选择阴离子树脂来达到完全去除硅的目的。

如果需要的话，离子交换过程可以达到几乎完全除盐的目的，正如现在大型电站的锅炉需要的情况一样。

除氧

在除氧过程中，通过在锅炉之前预热给水来去除溶解的气体，如氧气和二氧化碳。所有的天然水都溶解有气体。一些气体可急剧地加快腐蚀，如二氧化碳和氧气。当在锅炉系统中加热时，二氧化碳(CO_2)和氧气(O_2)作为气体释放出来，并与水(H_2O)结合形成碳酸(H_2CO_3)。

将锅炉给水中的氧气，二氧化碳和其它不可压缩的气体去掉对锅炉设备的寿命和安全运行是至关重要的。碳酸腐蚀金属，降低设备和管道的寿命。它也溶解铁(Fe)，使得给水回到锅炉后会沉淀下来并在锅炉和管道上形成水垢。该水垢不仅会减少设备寿命，同时也使热传递所需要的能量增多。

除氧可用机械除氧，化学除氧，或两者皆用。

机械除氧

用机械除氧的方式除去溶解的气体，该方式经常在加入化学除氧剂之前使用。机械除氧的依据是查理定律和亨利定律。大概来说，这些定律表明可通过加热给水来除去氧气和二氧化碳，因为加热给水可降低给水周围大气的氧气和二氧化碳的浓度。机械除氧是最经济的，是在除氧器压力对应的沸点温度下进

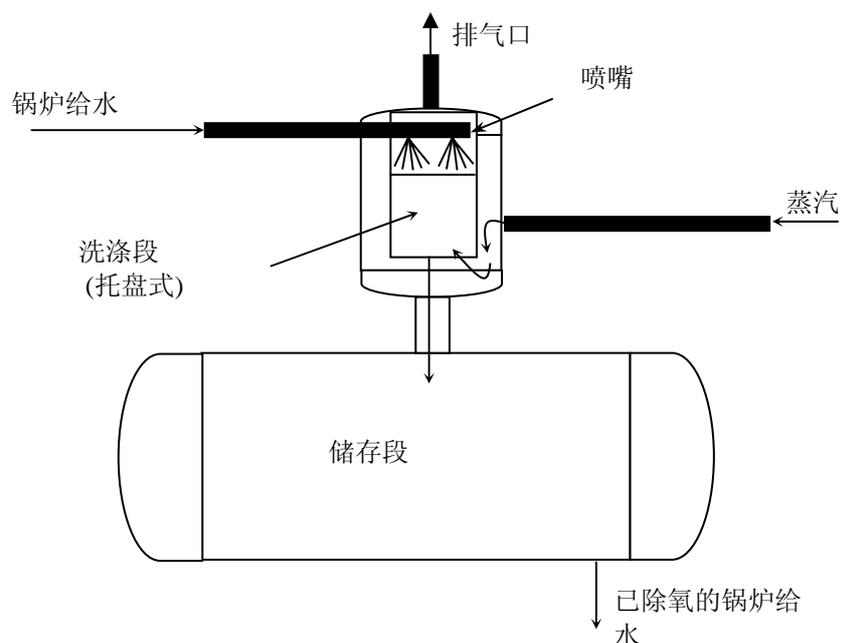


图 14. 机械除氧

参考:国家生产力委员会

热能设备：锅炉和热流加热器

行。机械除氧可以为真空式或压力式。

真空式除氧器运行压力低于大气压力，运行温度为 82°C，能将水中的氧气含量减少到 0.02 mg/升。需要运行真空泵或蒸汽喷射器来维持其真空度。

压力式除氧器运行时，蒸汽通过一个压力控制阀进入给水中，以维持需要的运行压力，因此最低的运行温度为105°C。通过蒸汽将给水温度升高，从而释放O₂ 和 CO₂ 气体并排放出去。该方式可将含氧量降低到0.005 mg/升。

当可以得到多余的低压蒸汽时，可以通过选择运行压力来利用这些蒸汽，从而节约燃料。在锅炉系统中，更多的是利用蒸汽来除氧，这是因为：

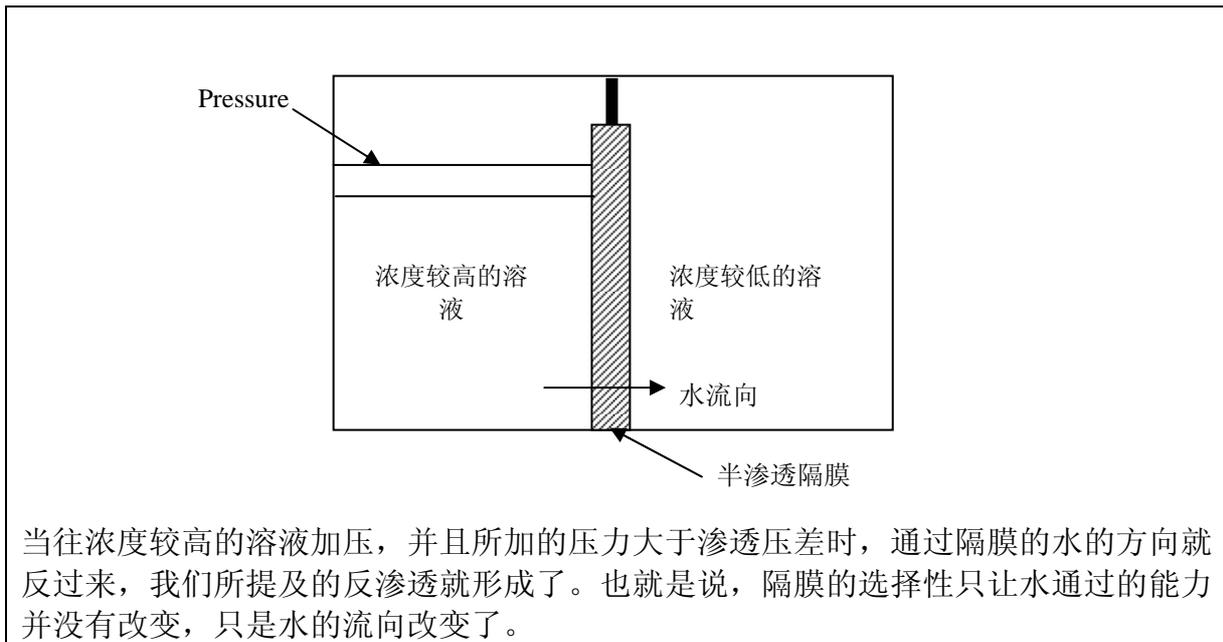
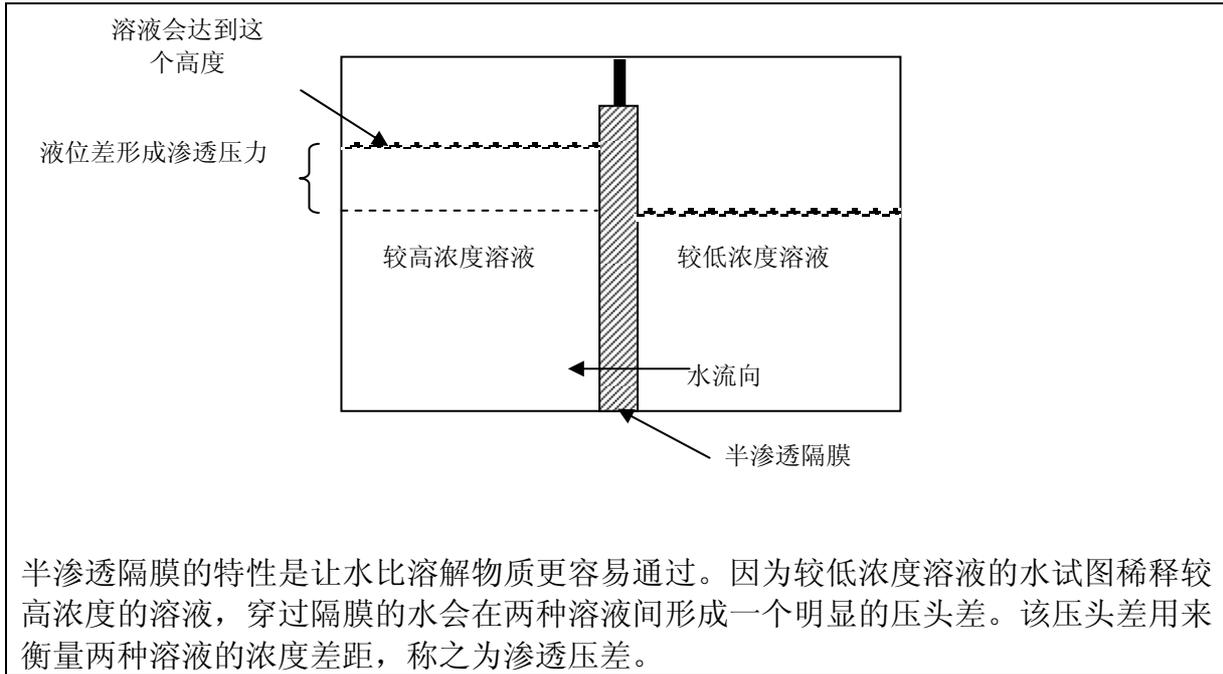
- 蒸汽中完全不含O₂ 和 CO₂。
- 蒸汽容易得到。
- 蒸汽提供了整个反应所需要的热量。

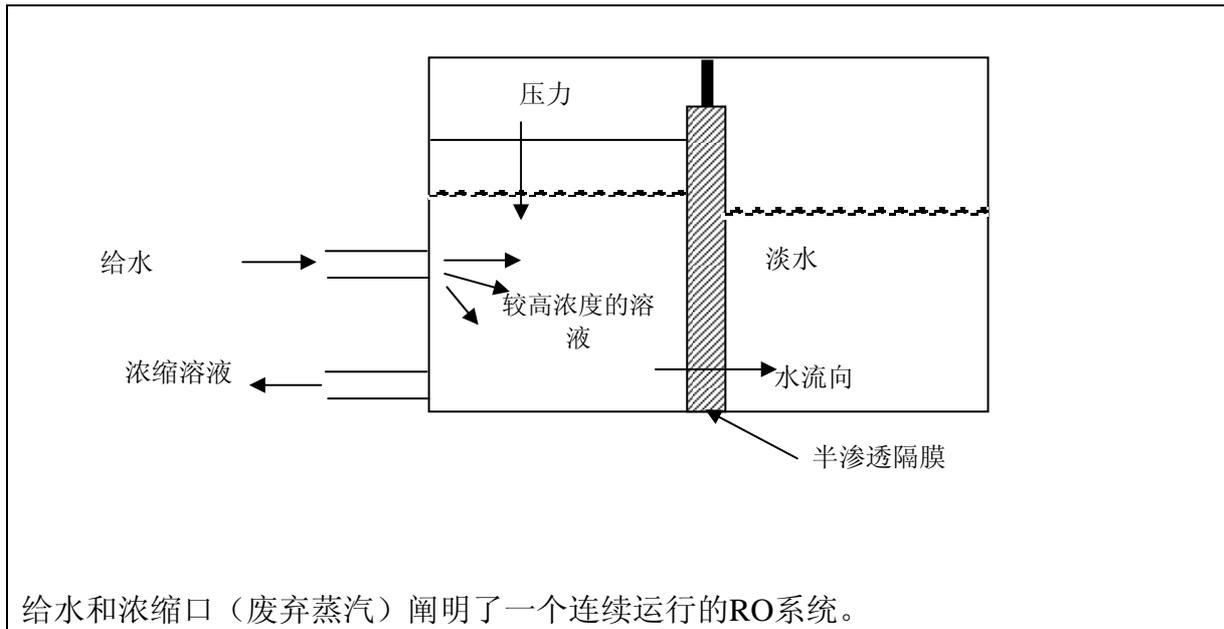
化学除氧

即使最有效的机械除氧器只能将含氧量降低到一个较低的水平(0.005 mg/升)，而很微小的含氧量也可能对系统造成腐蚀损害。因此，为了达到良好的运行状况，需要用化学除氧剂将那点微小的含氧量去除掉，如使用亚硫酸钠或联氨等。亚硫酸钠与氧气反应形成硫酸钠，增加了锅炉给水中的 TDS 含量，从而增加了排污的需求，提高了补给水的质量。联氨与氧气反应生成氮气和水。在高压锅炉中总是使用联氨，因为此时锅炉给水的固体量必须较低，而联氨不会增加给水中的 TDS 含量。

反渗透

反渗透是利用以下原理：当两种不同浓度的溶液被一个半渗透的隔膜分开时，低浓度的溶液的水就会通过隔膜去稀释高浓度的溶液。而如果高浓度的溶液被加压后，该过程就反过来了，水就会从高浓度的溶液流向低浓度的溶液。这就是所谓的反渗透。





产生的水的质量取决于高压侧的溶液的浓度和隔膜两边的压差。该过程适合于 TDS 含量很高的水，如海水。

3.3.6 推荐锅炉和给水质量

在锅炉水中发现的杂质多少取决于给水处理前的质量，水处理过程以及锅炉运行程序。总体来说，锅炉运行的压力越高，对杂质的敏感度就越强。

推荐给水界限 (IS 10392, 1982)			
指标	小于 20 kg/cm ²	21 - 39 kg/cm ²	40 - 59 kg/cm ²
铁的总含量 (最大值) ppm	0.05	0.02	0.01
铜的总含量 (最大值) ppm	0.01	0.01	0.01
硅的总含量 (最大值) ppm	1.0	0.3	0.1
含氧量(最大值) ppm	0.02	0.02	0.01
残留在氨量 ppm	-	-	-0.02-0.04
25°C时的 pH值	8.8-9.2	8.8-9.2	8.2-9.2
硬度, ppm	1.0	0.5	-

推荐锅炉水界限 (IS 10392, 1982)			
指标	小于 20 kg/cm ²	21 - 39 kg/cm ²	40 - 59 kg/cm ²
总溶解固体量 (TDS), ppm	3000-3500	1500-2500	500-1500
总溶解铁量 ppm	500	200	150
25°C时的导电率 (mho)	1000	400	300
残余磷酸盐量 ppm	20-40	20-40	15-25
25°C 时的pH 值	10-10.5	10-10.5	9.8-10.2
硅含量 (最大值) ppm	25	15	10

4.提高能源效率的可能性

本节包括关于燃烧，热传递，可避免的损失，厂用电，用水质量和排污方面的提高能源效率的契机。

能效与能量损失有关，因此锅炉中的能够提高能源效率的契机与燃烧，热传递，可避免的损失，大量的厂用电，用水质量和排污密切相关。

锅炉系统中各种各样的提高能源效率的契机为：

1. 控制烟囱的温度
2. 用省煤器预热锅炉给水
3. 预热燃烧空气
4. 将不完全燃烧降到最小
5. 控制过量空气
6. 避免辐射和对流热损失
7. 自动排污控制
8. 减少结垢和飞灰损失
9. 降低锅炉蒸汽压力
10. 风机，鼓风机和水泵的变速控制
11. 控制锅炉负荷
12. 恰当的锅炉运行程序
13. 替换锅炉

以下的章节将对此进行详细的解释。

4.1控制烟囱的温度

烟囱的温度应该尽可能的低。然而，又不能过低而致使水蒸汽在烟囱管道上凝结下来。这一点是非常重要的，因为燃料中包含有大量的硫分，温度过低会导致硫的露点腐蚀。烟囱的温度若高于了200°C就表明有回收废热的可能。此外还表明了热传递/回收的设备将会结垢，因此很有必要及早停机来清洗水侧/烟气侧。

4.2用省煤器预热锅炉给水

大体来说，烟气离开现代的3烟道筒式锅炉的温度为200到300°C。因此，可以从这些烟气中回收热量。一般情况下烟气离开锅炉的温度维持在最小温度为200°C，从而烟气中的氧化硫不会凝结下来对热传递表面造成腐蚀。当使用清洁燃料诸如天然气，LPG或气体油时，回收废热的经济性就体现出来了，因为此时烟气温度可以远小于200°C。

节约能量的可能性依靠于锅炉的安装方式和使用的燃料。对于一个典型的老式筒式锅炉来说，锅炉出口的烟温为260°C，此时就可以使用一个省煤器将烟温降低到200°C，将给水温度提高15°C。可将总体的热效率提高3个百分点。对于现代的3烟道的燃烧天然气的壳状锅炉，其锅炉出口烟温为140°C，采用了省煤器后可将出口烟温降低到65°C，将热效率提高5个百分点。

4.3 预热燃烧空气

预热燃烧空气是预热给水的另一种方式。为了将热效率提高 1 个百分点，燃烧空气的温度必须提高 20 °C。大多数在锅炉厂使用的气体和油燃烧器并不适应高预热温度的燃烧空气。

现代的燃烧器能承受更高预热温度的燃烧空气，因此当不管从空间上还是较高给水循环温度来看都可行时，可以考虑在烟气出口部分安装类似热交换器之类的设备，作为省煤器的替代品。

4.4 不完全燃烧

不完全燃烧可能是由于空气不足，燃料过剩或燃料分配太差引起的。不完全燃烧明显的反应在颜色和烟气上，并必须立即改正。

在燃油和燃气系统中，CO或烟气中与适量或过高的空气共存（只针对燃油系统而言）表明燃烧器系统出了问题。另一个经常造成不完全燃烧的原因是在燃烧器区域燃料和空气的混合状况很差。不适当的粘性，喷嘴磨损，喷嘴炭化和扩散器损坏或旋转器扁平都可导致较差的燃油效果。

当燃煤时，不完全燃烧的碳能造成大损失。它存在于炉渣或飞灰之中，数量可达到锅炉供热量的2个多个百分点。燃料大小不一是造成不完全燃烧的原因之一。在链条式炉排中，大块的煤不能完全燃烬，而小块和小颗粒的煤可能堵塞空气通道，从而导致空气分布较差。在喷洒加煤机中，加煤机炉排的状况，燃料分配器，风箱空气管理和燃烬系统均可影响碳的损失。提高煤粉的细度也将导致碳损失的增加。

4.5 控制过量空气

下表表示了燃烧不同燃料所需要的理论空气量。

在所有实际情况中都需要过量空气以保证完全燃烧，保证燃烧正常的变动和确保燃烧某些燃料时烟囱的正常工作状况。当由于不完全燃烧损失和烟气热损失达到最小时，达到最大锅炉效率所需要的最佳过量空气水平就达到了。该水平与炉膛设计，燃烧器类型，燃料和过程变量有关。可以通过开展不同的风煤比的试验来确定该水平值。

理论燃烧值 – 一般的锅炉燃料 (国家生产力委员会，现场经验)		
燃料	所需的公斤空气/公斤燃料	实际生产时烟气中的CO ₂ 百分比
固体燃料		
甘蔗渣	3.3	10-12
煤(烟煤)	10.7	10-13
褐煤	8.5	9-13
稻壳	4.5	14-15
木头	5.7	11.13
液体燃料		
燃油	13.8	9-14
LSHS	14.1	9-14

不同燃料的典型过量空气水平值 (国家生产力委员会，现场经验)		
燃料	炉膛或燃烧器形式	过量空气 (质量百分比)
煤粉	完全的水冷式炉膛，振动除渣，干式除灰	15-20
	部分水冷炉膛，干式除灰	15-40
煤	抛煤机炉排	30-60
	水冷式振动炉排给煤机	30-60
	链条和移动炉排给煤机	15-50
	下方给煤机	20-50
燃油	油燃烧器，记录式	15-20
	多燃料燃烧器和平焰式燃烧器	20-30
天然气	高压燃烧器	5-7
木头	荷兰式(10-23%通过炉排燃烧)和 Hofft 式	20-25
甘蔗渣	所有炉膛	25-35
醋酸铁液	蓄热式炉膛，用于通风和苏打制浆	30-40

将过量空气控制在最优的水平总是可以减少烟气损失。过量空气每减少 1 个百分点，效率可增加约 0.6 个百分点。

可采用各种方法来控制过量空气：

- 便携式氧气分析仪和通风计可以用来显示一些周期的数据来指导操作员手动调节空气流量以达到最佳运行状态。可将过量空气降低 20 个百分点。
- 最常用的方法是采用装有就地可读数的通风计的连续氧气分析仪，通过它操作员可以调节空气流量。该系统可在先前分析的系统基础上将过量空气再降 10—15 个百分点。
- 相同的连续氧气分析仪可以安装一个远程控制的气动挡板位置调节器，仪器读数可以在控制室里显示出来。这使得操作员可以同时远程控制多个燃烧系统。

最先进的系统是烟囱闸板自动控制系统，该系统成本较高，仅适用于大型系统。

4.6 将辐射和对流热损失减少到最小

筒式锅炉的外表面的温度远高于周边环境温度。锅炉外表面向环境散发的热量由外表面的面积和外表面与环境之间的温差决定。

锅炉壳体的热损失一般是一个固定值，与锅炉出力无关。然而在现代锅炉的设计中，壳体的热损失在锅炉满负荷运行时只占总热量的 1.5%，而锅炉运行在 25% 的负荷时，该热损失上升到约占总热量的 6%。

修理和增加隔热面可以降低锅炉表面和管道的热损失。

4.7 自动排污控制

无控制的连续排污是非常浪费的。可以安装自动排污控制来探测和响应锅炉水的传导性和pH值。一个15 kg/cm²的锅炉的10%的排污量可造成3%的效率损失。

4.8 减少结垢和飞灰损失

对于燃油和燃煤锅炉，飞灰积累在管道上后，就像一个绝热器一样阻止热传递。任何这样的沉积物都必须定期清除掉。烟囱温度的提高可能表明有更多的飞灰形成，同时也可能是由于水侧结垢所致。在正常的过量空气下，出口烟气温度过高表明热传递性能很差。逐渐积累的烟气侧和烟气侧的沉积物能导致发生该现象。水侧的沉积物需要通过水处理和管道清洗来去除掉。预计损失1%的效率可使烟囱的温度上升22°C。应该定期检查和记录烟囱的温度，使之作为一个飞灰沉积的指示器。当烟气的温度比一个刚清洗好的锅炉的烟气温度高20 °C时，就应该去除这些飞灰沉积物了。因此推荐在烟囱底部安装一个表盘式热电偶来监控排出的烟气温度。

预计灰层为 3 mm 时，由于烟气温度会上升，燃料消耗将增加 2.5 个百分点。为了去除顽固沉积物，须定期离线清洗炉膛辐射表面，锅炉管束，省煤器和空预器。

4.9 降低锅炉蒸汽压力

如何可能的话，这是一个有效的降低燃料消耗的方法，可降低燃料消耗量 1 到 2 个百分点。较低的蒸汽压力使得饱和蒸汽的温度降低，并在不采用烟囱热回收的情况下，烟气的温度也随之降低。

正常情况下生产出的蒸汽具备一定的压力，以满足特别过程的高压/高温的需求。在某些情况下，并不是一直都运行高温高压的过程，因此有些时候可以降低锅炉压力。但是必须谨记任何降低锅炉压力都会减少锅炉中蒸汽的比容，从而有力的降低锅炉出力。如果蒸汽负荷超过了降低了的锅炉出力，就会产生带水现象。因此能源经理在发施号令前必须仔细的考虑降低压力后的可能结果。应分段降低压力，并且降低量不得超过 20%。

4.10 风机、鼓风机和水泵的变速控制

变速控制是节约能源的一个重要的方法。一般来说，燃烧空气的调节装置受送风机和引风机上的节流挡板所影响。可是挡板只是简单的控制方法，它们缺乏精确性，运行范围的上限和下限的控制特性很差。总的来说，如果锅炉的负荷特性是可变的，那么用 VSD 替代挡板是可行的。

4.11 控制锅炉负荷

锅炉的最大效率并不出现在锅炉满负荷运行时，而是出现在约三分之二负荷时。如果锅炉负荷进一步降低，效率也会降低。在零负荷输出时，锅炉的效率为零，此时燃烧的任何燃料都仅仅是用来补充损失。影响锅炉效率的因素有：

- 当负荷下降时，通过管道的烟气的质量流量值也会下降。同一热传递区域的烟气流量降低，使得出口烟温降低少许，也降低了可察热损失。
- 在半负荷以下时，大多数燃烧设备需要更多的过量空气来使得燃料完全燃烧，这增加了可察热损失。

总而言之，锅炉在低于 25% 额定负荷运行时，效率会急剧下降，应尽量避免锅炉在这个水平以下运行。

4.12 恰当的锅炉运行程序

由于锅炉的最大效率出现在满负荷的 65%-85% 之间，因此从整体上来说，使少量锅炉运行较高的负荷比大量锅炉运行较低的负荷更有效。

4.13 替换锅炉

替换锅炉可得到的潜在节约成本由总体效率的预期变化决定。如果现有锅炉是以下状况，那么改变锅炉后的经济效益是很有吸引力的：

- 锅炉老旧，效率低下
- 不能够燃烧廉价的替代燃料
- 相对于现在的需求来讲容量过大或过小
- 设计不符合理想负荷条件

可行性研究应该调查所有的长期使用燃料的可用性和公司的发展规划。应考虑所有的经济和工程因素。由于锅炉的一般使用寿命会超过 25 年，因此替换方案必须得以认真研究。

5. 方案清单

本节介绍提高锅炉能源效率最流行的方案。

5.1 定期任务和锅炉外部检查

- 所有检修门和锅炉板必须用有效的密封垫圈保持气密。
- 烟气系统的所有连接处必须有效密封，适当的部位需要进行保温。
- 锅炉筒和各段必须有效保温。现有的保温层是否充分？如果锅炉、管道和热水缸的保温层是多年以前安装的，那么几乎可以肯定这些保温层已经很薄了，及时它们看起来状态还不错。记住，这些保温层是在入了成本低很多的时候安装的。增加保温层厚度是很有必要的。
- 在供热季结束时，锅炉必须进行彻底密封，内表面应当在夏季自然通风或用托盘放入干燥剂进行彻底密封。(仅适用于在供热季之间停止运转的锅炉)

5.2 锅炉：针对蒸汽和热水锅炉的额外项目

- 定期检查锅炉内水垢或淤渣的形成，或每个工作班检查一次锅炉水的总溶解固体量，但不得少于每天一次。锅炉水中的杂质会在锅炉内被浓缩，但浓度根据锅炉的类型和荷载的不同是有不同的限度的。应当尽量减少锅炉排污，但应与维持正确的锅炉水浓度一致。要从锅炉排污水中回收热量。
- 对于蒸汽锅炉：水处理是否足以防止发泡和汽水共腾以及由此引发的过量的水和化学物质被带入蒸汽系统？
- 对于蒸汽锅炉：自动水位控制器是否运转正常？互连管的存在可能是非常危险的。
- 各检修门周围或锅炉与烟囱之间是否定期进行了空气泄漏检查？检修门的空气泄漏现象会降低锅炉效率；锅炉与烟囱之间的泄漏会造成浓缩、腐蚀和污迹。
- 每个供热季必须用烟气分析器检查燃烧状况两次以上，如需要，应当调节烟气/空气比例。
- 检查和实际控制都应当有效地进行标注和定期检查。
- 安全防护功能必须有手动重置和报警功能。
- 油燃烧器必须由测试点或永久指示器，以提供运行压力/温度状态。
- 对于燃油或燃气锅炉，如果火灾和过热保护熔断系统的电缆需要经过任何员工能够通过的通道，它们安装的位置必须高于人的头顶。
- 紧急停机装置必须安装在锅炉间的出口处。
- 为了减少腐蚀，应当采取措施尽量减少回水温度降到露点以下的时间，特别是对燃油锅炉和燃煤锅炉。
- 很大的燃料用户可能有自己的地秤，因此可以对供应商的交货进行直接检查。如果没有地秤，作为检查，是否可以偶尔要求供应商用公共地秤(或关系较好的相邻企业的地秤)进行称量？如果是液体燃料供应商，是否可以检查运油车车辆的量油尺？
- 对于锅炉装置，要确保所用燃料符合要求。对于固体燃料，正确的品级和尺寸是很重要的，而灰分和水分装置设计者最初就应当考虑到。对于油类燃料，要确保油的年度满足燃烧器的要求，并检查燃油温度。
- 对燃料用量的监测应当尽量准确。燃料库存量剂量必须符合实际。

热能设备：锅炉和热流加热器

- 对于油燃烧器，要检查部件和维修情况。喷油嘴应当定期更换并仔细清洗，以避免损坏燃烧器喷尖。
- 维护和维修程序必须审查，特别是对燃烧器设备、控制和监测设备。
- 定期清洗传热面，将热效率维持在所能达到的最高水平。
- 确保锅炉操作员熟悉操作规程，特别是那些新的控制设备操作规程。
- 您研究过从锅炉排气中回收热量的可能性吗？现代的换热器能够用于大部分类型和尺寸的锅炉。
- 您是否会检查供水箱和集水箱，是否有给水阀存在泄漏？保温是否合理？排水装置是否存在水损失？
- 制造商可能最初为锅炉装置提供了保温层。在现在的燃料成本下，当初的保温层是否足够？请进行检查，确定最佳的保温层厚度。
- 如果产生的蒸汽量很大，投资安装一个蒸汽流量计。
- 测量蒸汽输出量和燃料输入量。蒸汽和燃料的比值是锅炉效率的主要度量依据。
- 使用现有的监控系统：这将暴露任何损坏的迹象。
- 要定期检查锅炉给水的水质和纯度。
- 蒸汽流量计要不时地进行检查，因为随着时间的推移它们会由于测流口或导引头被腐蚀而损坏。需要注意的是蒸汽流量计只有在标准蒸汽压力下给出的读数才是正确的。可能需要进行重校准。
- 检查所有管道系统、连接件和蒸汽疏水器是否有泄漏，即使是在不可进入的区域。
- 不使用的管道应当隔离，多余的管道要拆除。
- 是否安排了人员负责安装工作的组织和总体指导工作？这项工作应当包含到他们的工作规定中。
- 图纸、操作规程和维护细则等基本记录是否已提供给此人？
- 是否保留了值班簿，以便记录进行的维护工作的详情、实际燃烧烟气的读数、每周或每月的燃料消耗量以及意见和投诉等？
- 要确保蒸汽压力不高于设备运行的需要。当夜间荷载比日间荷载小很多时，考虑安装一个压力开关，使蒸汽压力在夜间能够在更大的范围内变化，从而降低燃烧器关闭的频率，或限制燃烧器的最大燃烧速度。
- 研究以下是否有必要在锅炉备用状态下进行维护——这常常是一个不合理的热量损失。备用锅炉的流体和烟气部分需要进行保温。
- 保留一份适当的锅炉间活动记录，以便有目的地度量锅炉的性能。如果用便携式设备检测燃烧等情况，要确保定期进行，将荷载状况写入记录中：满荷载或半荷载下的含量CO₂等。
- 检查锅炉间，确保不会因为对锅炉间内辅助设备的不当操作，如开启/关闭进料控制、调节进料系统故障或联箱设计不当，而造成严重的荷载变化。
- 是否向热水加热系统中添加了防腐蚀添加剂？是否每年检查了水的浓度尚且合理？确保添加剂不会被加入内部热水加热箱中，它将污染流向水槽中的阀门的水。
- 回收一切可行的、能够大量节约能源的冷凝水。

5.3 锅炉间和工作间

- 通风口要永远保持畅通，通风区域要检查，确保充足。
- 工作间不能用作储藏、通风和干燥等目的。
- 泵和自动阀门的维护是否按照制造商的说明进行维护？

热能设备：锅炉和热流加热器

- 运行和备用泵是否大约每月对调一次？
- 泵是否安装了截止阀？
- 泵的每一侧是否都安装了压力/热量测试点和/或指示器？
- 泵体上是否安装了放气设备？
- 活动件(如连接器)是否有保护措施？
- 一定要定期检查设备的精确性。
- 通过观察检查所有管线和阀门的泄漏点。
- 检查所有安全设施是否能够有效运行。
- 检查所有电接触点，确保它们清洁、安全。
- 确保所有设备的外壳和安全挡板都到位。
- 检查所有传感器，确保它们清洁，无遮挡，并且没有暴露在非代表性的环境中，如温度传感器就不能暴露在阳光直射下，也不能放置在热的管道或加工设备附近。
- 确保只有经过授权的员工才能操作控制设备。
- 各工段应当在必须的时候才运行，最好采用自动控制。
- 要安装时间控制设备，整个工厂最好采用自动运行。
- 在安装多个锅炉时，要隔离不能安装在近水处的锅炉，如果可能且安全，还应隔离靠近燃气的锅炉。要确保这些锅炉不会着火。
- 对烟气系统进行保温(包括保护)也能降低热量损失。
- 在安装多个锅炉时，超前/滞后控制应带有重置功能。
- 如可能，降低系统运行温度应当由锅炉的外部设备来进行，并且要使锅炉温度保持在正常恒定的温度范围内。

5.4 水和蒸汽

- 锅炉给水必须负荷供应商提供的参数，必须清澈、无色、无悬浮杂质。
- 锅炉水最大硬度0.25 ppm CaCO₃。
- 锅炉水pH值在8到10之间能够延缓腐蚀，而由于酸的作用，pH值低于7会加速腐蚀。
- 溶解的O₂低于0.02 mg/l。它与SO₂共同作用会造成腐蚀问题。
- CO₂含量应保持在非常低的水平。它与O₂共同作用会造成腐蚀，特别是在铜和含铜合金中。
- 锅炉水中一定不能混入油——它会造成汽水共腾。

5.5 锅炉水

- 锅炉水必须呈碱性——CaCO₃含量在50 ppm到150 ppm之间，pH值8.3——碱度值应低于120。
- 锅炉水总溶解固体量应维持在使蒸汽污染超标的数值以下，以避免过冷却及随之而来的在过热器、蒸汽总管和牵引机上形成沉积物的危险。
- 磷酸盐含量应不高于25 ppm P₂O₅。
- 补给水只能含有微量的硅。锅炉水中的SiO₂含量必须低于40ppm，蒸汽中的SiO₂必须低于0.02ppm。如果硅含量超过了这个数值则有可能被带到汽轮机的叶片上。

美国锅炉制造商协会建议的锅炉水的最大浓度	
锅炉蒸汽压力 (ata)	锅炉水最大浓度 (ppm)
0-20	3500
20-30	3000
30-40	2500
40-50	2000
50-60	1500
60-70	1250
70-100	1000

- 必须建立一个能够适应锅炉给水处理需求的水处理工厂，以保证水的纯度。此外，必须准备一个化学配料设备，以便进一步控制锅炉水质。当锅炉水浓度超过供应商规定的限度，则必须进行排污。
- 锅炉水的碱度不能超过总浓度的20%。锅炉水位必须维持在正确的高度。为了确保则一点，一台锅炉通常会配备两个玻璃管液面计。
- 锅炉操作员必须定期对锅炉进行排污，每一班排污一次，如果锅炉每天运行的时间不到24小时，则至少每天排污一次。

5.6 排污 (BD) 规程

传统的、已被认可的锅炉排污规程如下：

1. 关闭给水旋塞
2. 打开排水旋塞(注意蒸汽会自由泄漏)
3. 关闭排水旋塞
4. 关闭蒸汽旋塞
5. 打开给水旋塞
6. 打开排水旋塞 (注意水会自由泄漏)
7. 关闭排水旋塞
8. 打开蒸汽旋塞
9. 先打开然后关闭排水旋塞，至此一次排污完成

最先出现的水通常能够反应锅炉水的状况。如果这些水已经变色，必须查明其原因。

6.工作表和其它工具

该章节包括工作表（锅炉性能表；数据收集表；燃料分析表）和其它工具（锅炉性能清单；拇指规则；规范操作和违规操作）

6.1 工作表

锅炉工作表 1.锅炉性能

序号	参考参数	单位	读数
1	最终分析		
	碳	百分比	
	氢	百分比	
	氧	百分比	
	硫	百分比	
	氮	百分比	
	水分	百分比	
	灰分	百分比	
2	燃料总热值	KCal/kg	
3	烟气含氧量	百分比	
4	烟气温度(T_f)	$^{\circ}\text{C}$	
5	大气温度(T_a)	$^{\circ}\text{C}$	
6	大气湿度	Kg/kg 干空气	
7	飞灰中可燃物含量	百分比	
8	飞灰总热值	KCal/kg	
9	过量空气(EA) $(\text{O}_2 \times 100)/(\text{21} - \text{O}_2)$	百分比	
10	需要的理论空气量(TAR) $[11 \times \text{C} + \{34.5 \times (\text{H}_2 - \text{O}_2/8)\} + 4.32 \times \text{S}]/100$	kg/kg 燃料	
11	实际空气量 $\{1 + \text{EA}/100\} \times$ 理论空气量	kg/kg 燃料	
12	干烟气热损失 $\{k \times (T_f - T_a)\} / \text{CO}_2$ 含量 其中，k (Seigert const.)	百分比	

热能设备：锅炉和热流加热器

序号	参考参数	单位	读数
	= 煤取 0.65 = 燃油取 0.56 = 天然气取 0.40		
13	燃料中的H ₂ 产生的水蒸发而导致的热损失 [9 x H ₂ {584 + 0.45(T _f - T _a)}] / 燃料总热值	百分比	
14	燃料中的水分蒸发而导致的热损失 [M x {584 + 0.45 x (T _f - T _a)}] / 燃料总热值	百分比	
15	空气中水分导致的热损失 {AAS x 湿度 x 0.45 (T _f - T _a) x 100} / 燃料总热值	百分比	
16	飞灰中含有的可燃物而导致的热损失 {飞灰 x (100 - Comb. In Ash) x 飞灰总热值 x 100} / 燃料总热值	百分比	
17	总损失	百分比	
18	效率	百分比	

工作表锅炉 2: 数据收集表

S No.	参考参数	单位	读书
1	锅炉型号		
2	蒸汽生成量	TPH	
3	蒸汽压力	Kg/cm ² (g)	
4	蒸汽温度	⁰ C	
5	使用燃料(煤/油/天然气等.)		
6	燃油耗费量	TPH	
7	燃料总热值	kCal/kg	
8	给水温度	⁰ C	
9	烟气含氧量	百分比	
10	烟气温度(T _f)	⁰ C	
11	大气温度(T _a)	⁰ C	
12	空气湿度	Kg/kg 干空气	

13	飞灰中可燃物含量	百分比	
14	飞灰总热值	KCal/kg	

锅炉工作表 3: 燃料分析表

序号.	参考参数	单位	读数
1	最终分析		
	碳	百分比	
	氢	百分比	
	氧	百分比	
	硫	百分比	
	氮	百分比	
	水分	百分比	
	灰分	百分比	
2	燃料总热值	KCal/kg	

6.2 锅炉定期检查清单

锅炉定期检查清单				
系统	每天	每周	每月	每年
排污和水处理	检查排污阀，确保其泄漏，不能过量排污	-	确保不沉淀固体	-
给水系统	检查和修正不稳定的水面，确定造成水面不稳，过负荷污染，设备故障等的原因	关闭给水泵后使调节装置关闭燃油以检查调节装置		冷凝水接收器，除氧系统水泵
烟气	检测两个不同的点的温度	测量温度，与选择的火温比较，并调节推荐的阀门	与每周检查工作一样，与先前的读数比较	参考每周记录
供应燃烧空气			检查空气入口的开度是否足够，清洁烟道	
燃烧器	检查调节装置是否运行正常，每天可能需要清洁几次	清洁燃烧器，指示部件，检查电极燃烧器的火花隙状况。	与每周相同	与每周相同，清洁和修理
锅炉运行特性		观测火焰失效和火焰特性		
安全阀		检查泄漏		移动并修理
蒸汽压力	检查造成压力过多变化的多余负荷			

锅炉定期检查清单				
系统	每天	每周	每月	每年
燃料系统			检查水泵，压力表，传送线。清洁这些设备	清洁和修理系统
压盖填料带			检查损伤。检查压盖填料的漏点，检查其是否恰当压缩	
水侧和火侧表面空气泄漏				根据制造商的建议每年清洁表面
空气泄漏				检查检修口周围的漏点和火焰
燃料侧耐火材料				修理
电气系统		清洗外面的表盘	检查内部表盘	清洗，修理接线端和触点
液压阀和气动阀			清洁设备，收集溢出油，避免空气泄漏	修补所有的缺陷并检查设备使之正确的运行

6.3 总则 (“拇指规则”)

- 过量空气降低5%，锅炉效率增加1%（或者烟囱烟气中氧气含量降低1%，锅炉效率增加1%）
- 烟气温度降低22 °C，锅炉效率增加1%。
- 通过省煤器/凝结水回收使得给水温度上升6 °C，可节约1%的锅炉燃料量。
- 通过废热回收使燃烧空气温度增加20 °C，可节约1%的燃料。
- 输送蒸汽量为7 kg/cm²的管道上有个直径为3 mm的洞，每年可浪费燃油32,650升。
- 直径为150 mm，运送饱和蒸汽量为8 kg/cm²的100m长的裸露蒸汽管道每年浪费燃油25 000升。
- 70%的热损失可以通过在90 °C的热流/凝结水表面上覆盖一层直径为45 mm的聚丙烯（塑料）球来降低。
- 一个0.25 mm厚的空气层的绝热能力相当于一个330 mm厚的铜墙绝热能力。
- 在热传递表面上一层3 mm厚的积灰层可致使燃料消耗量增加2.5%。
- 在水侧一个1 mm厚的水垢层可致使燃料消耗量增加5%至8%。

6.4 锅炉操作注意事项

锅炉操作注意事项	
规范操作	违规操作
<ol style="list-style-type: none"> 1. 定期吹灰 2. 每次轮班清洁排污水位表一次 3. 每周检查安全阀一次 4. 每次轮班根据需要排污 5. 保持所有炉膛门关闭 6. 控制炉膛通风 7. 每次轮班清洁排放灰斗 8. 监视烟囱烟尘和控制火焰 9. 偶尔关闭给水小段时间，以检查燃油的自动调节装置 10. 定期检查泄漏点 11. 确保正确运行，每周检查一次所有的阀门，挡板等 12. 润滑所有的机械，确保平滑运行 保证配电盘干净整洁和所有显示系统正常运行 13. 保持空间干净无尘 14. 保持消防准备安排就绪，每个月练习一次消防行动 15. 必须真实填写所有记录表 16. 若引风机跳闸，关闭送风机 17. 每三个月检查/校正一次CO₂ 或O₂记录器 18. 定期的检查和维护存水器 19. 蒸汽和水的质量应该每天检查一次，可以的话，可每次轮班检查一次 20. 油的质量应该每周检查一次 21. 保证子加热器的排放口在启动的时候呈开启状态 22. 保证排气活塞在启动和停机时呈开启状态 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在锅炉熄火以后不要立即点火（吹扫） 2. 不要无谓的排污 3. 没有必要的情况下，不要保持炉膛门开启 4. 不要频繁的吹扫安全阀（控制运行） 5. 不要让灰斗溢满 6. 不要使燃烧速度增加超过了许可值 7. 不要加入未处理的水 8. 不要运行锅炉的挡板折边 9. 不要使锅炉超负荷运行 10. 不要使水面过高或过低 11. 不要在高负荷下运行吹灰器 12. 不要在引风机工作时强行停机 13. 不要直接观看炉膛的火焰，使用有色安全玻璃观看 14. 避免较厚的燃料层 15. 不要雇用没有培训过的运行员/技术员来运行锅炉 16. 不要忽视不寻常的现象（声音改变，性能改变，控制困难），调查这些现象 17. 不要漏掉每年的维修 18. 维修时不要启动锅炉 19. 不要使省煤器中生成蒸汽（观测温度） 20. 不要使炉排暴露在外（均匀分布） 21. 水管泄漏时，不要运行锅炉

7. 参考文献

- 加拿大农业和农产品局：加拿大食品和饮料行业的热量回收. 2001. www.agr.gc.ca/cal/epub/5181e/5181-0007_e.html
- Considine, Douglas M. 能源技术手册. McGraw Hill Inc, New York. 1977.
- 印度政府煤炭出版物部门：流化床燃煤锅炉
- 印度煤炭部，由国家生产力委员会编制. 煤- 能源效率改进技术. 1985
- Elonka, Jackson M., and Alex Higgins, 蒸汽锅炉间问答, 第三版
- 印度能源机械部. 能源机械产品, 热流加热器: Flowtherm系列
www.warmstream.co.in/prod-em-thermic-fluid-heaters.html
- Gunn, D., and Horton, R. 工业锅炉, 朗文科技出版公司, New York
- 印度能源巴士项目, 工业热能发生与分配. 为 CECIS10392 编写的 NIFES 培训手册, 1982
- Jackson, J. James, 蒸汽锅炉运行原理. 美国新泽西州Prentice-Hall出版公司. 1980.
- 轻轨运输协会, 巴思市的有轨电车. 直流电站- 锅炉.
www.bathtram.org/tfb/tF111.htm
- 国家煤炭委员会：煤的流化燃烧. 伦敦
- 国家生产力委员会：锅炉的有效运行
- Pincus, Leo I. 实用锅炉水处理. McGraw Hill Inc., 纽约. 1962.
- Sentry设备公司：额定蒸汽压力35到250PSIG 锅炉的连续排污热回收系统, 安装、运行和维护指南. SD 170, Rev. 4, 2/6.
www.sentry-equip.com/PDF%20files/Blowdown%201730%20Rev.%204.PDF. 2006.
- Shields, Carl D. 锅炉. McGraw Hill图书公司, U.S, 1961.
- Spirax Sarco. Spirax Sarco 的网络学习中心第 3 部分：www.spiraxsarco.com/learn
- 锅炉协会, 技术文献 - 2000 年技术研讨会, 2000年1月11日、12日
- TERI, GTZ 和EMC .蒸汽发生、分配和利用
- Thermax Babcock和Wilcox公司. 常压循环流化床燃烧锅炉. 2001.
www.tbwindia.com/boiler/cfbc_system.asp
- 哥伦比亚密苏里大学. 能源管理 - 为密苏里提供能源. 2004. www.cf.missouri.edu/energy/
- YourDictionary.com: 水管锅炉. 2004
www.yourdictionary.com/images/ahd/jpg/A4boiler.jpg.
- 网址：
www.eren.doe.gov
www.oit.doe.gov/bestpractices
www.pcr.org
www.energy-efficiency.gov.uk

热能设备：锅炉和热流加热器

www.actionenergy.org.uk

www.cia.org.uk

www.altenergy.com

Copyright:

Copyright © United Nations Environment Programme (year 2006)

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. No use of this publication may be made for resale or any other commercial purpose whatsoever without prior permission from the United Nations Environment Programme.

版权声明:

本出版物可供任何形式的培训或非盈利活动全部或部分复制使用，无需经过版权所有者的特别许可，而只需在副本中注明出处即可。如需在其他出版物中引用本出版物中的内容，请向 UNEP 发送一份该出版物的副本。

未经联合国环境规划署的书面许可，禁止将此出版物用于转售或任何其他商业用途。

Disclaimer:

This energy equipment module was prepared as part of the project "Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific" (GERIAP) by the National Productivity Council, India. While reasonable efforts have been made to ensure that the contents of this publication are factually correct and properly referenced, UNEP does not accept responsibility for the accuracy or completeness of the contents, and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or reliance on, the contents of this publication, including its translation into other languages than English. This is the translated version from the chapter in English, and does not constitute an official United Nations publication.

免责声明:

该能源设备简介是“亚太地区工业温室气体排放削减计划”(GERIAP)的一部分，由印度国家生产力委员会编写。尽管 UNEP 为保证此出版物的内容的正确性做出了不懈的努力，但是 UNEP 不承担其内容的准确性和完整性的责任，对任何通过直接或间接使用或者依赖该出版物内容，包括其非英语译本，而遭受的损失或者伤害，UNEP 概不负责。本材料是英文原版的中文译本，不属于联合国的官方出版物。