

废热回收

1. 介绍	1
2. 废热回收设备的类型	1
3. 废热回收的评估	12
4. 能源效率机会	15
5. 方案列表	15
6. 工作表	16
7. 参考资料	18

1. 介绍

本章简要地描述废热回收的主要特点。

废热是指在燃料燃烧或化学反应的过程中所产生的，之后被直接排放入周围环境中、没有出于有用和经济目的而被重新使用的热量。之所以对废热进行回收，其基本点并非在于这些热量的数量本身，而在于它们的“价值”。回收这些未被使用的热量的机理取决于废热气体的温度和相关的经济方面的考虑。

锅炉、干燥炉、烘箱和加热炉都会产生大量的热的烟气。如果能够回收其中的一些废热的话，那么就可以节省可观数量的主要燃料。废气中所含的能量不能被完全回收，但是其中的大量热量可以进行回收，而且通过采用本章所概述的以下措施可以将废热损失降到最低水平。

2. 废热回收设备的类型

本节描述可以用来回收废热以及用于其他应用和使用目的的各种商业设备。

2.1 换热器

在换热器中，热交换在烟道器和通过金属或陶瓷壁的空气之间进行。输送管或管子输送用于燃烧的空气进行预热，而另一边则包含有废热流。用于从烟气中回收废热的换热器如图 1 所示。

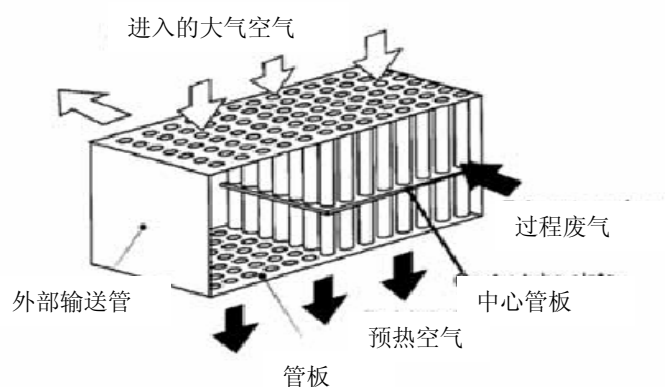
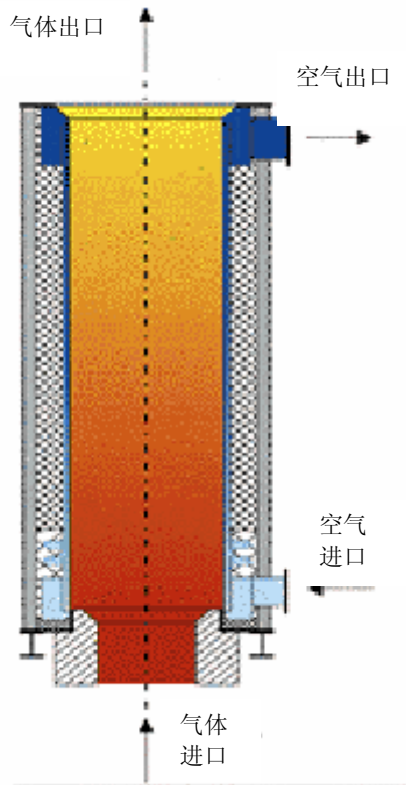


图 1. 使用换热器进行废热回收 (SEAV, 2004)

2.1.1 金属辐射换热器

最简单的换热器类型就是金属辐射换热器，它由如图2所示的两个同心长度的金属管道组成。



内管和外管分别将热的废气和燃烧空气从大气中输送到加热炉燃烧器的空气入口。这些热气被进来的燃烧空气冷却，然后燃烧空气将额外的能量输送到燃烧室。这部分能量不必由燃料供应，因此对于给定的加热炉装载来说，只需要燃烧较少的燃料。燃料的节约同时也意味着燃烧空气的减少，因此烟气温度的降低和排放较少量的废气都会减少烟道损失。该辐射换热器就是从大量的热量以辐射传热的方式从热气传递到内管表面的这个事实而得名的。然而，由于红外辐射几乎可以穿透外管里面的冷空气，因此进来的空气只会发生对流传热。如图表所示，两个气流通常情况下是平行的。然而，如果这两个气流以相反的方向流动（或者说逆流），相关配置将会更简单一些，热传递也会更加有效一些。使用平行流的原因在于，该换热器经常会用于另外一项功能，即冷却运走废气的输送管、从而延长其使用寿命。

图 2. 金属辐射换热器（Hardtech 集团）

2.1.2 对流式换热器

第二种常用的换热器类型被称为管式或对流式换热器。如下图所示，热气通过大量的平行细管进行运送，而将要被加热的进气则进入这些管子周围的壳体中，并以与其轴线垂直的方向经过这些热管一次或更多次。

如果用挡板阻隔这些管子以便让气体经过它们两次，这样的换热器被称为两路式换热器。如果使用两个挡板的话，则被称为三路式换热器，以此类推。尽管设置挡板增加了换热器的成本和燃烧空气路径的压降，但它同时也增加了热交换的效力。管壳式换热器通常来说较为小巧，但是由于它为气体提供了多个管线和多条路径、从而增加了传热面积，因此仍然比辐射换热器具有更高的效力。

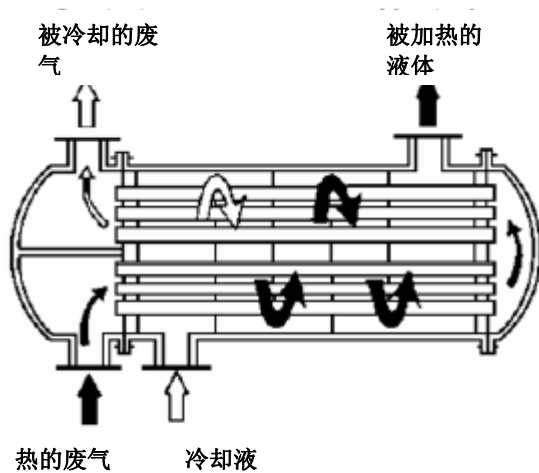


图 3. 对流式换热器
(Reay, D.A., 1996年)

2.1.3 混合型换热器

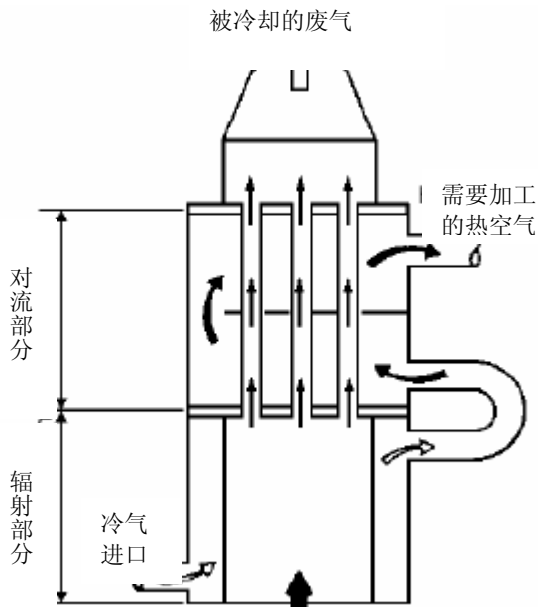


图 4. 混合型换热器
(Reay, D.A., 1996 年)

要想获得最大的热传递效力，可以使用混合型换热器。这种装置为辐射型和对流型换热器的结合体，包括高温辐射部分和对流部分（见图4）。

这种装置比简单的金属辐射换热器昂贵，但是其尺寸较小。

2.1.4 陶瓷换热器

有关金属换热器的热回收的主要限制因素是在入口温度超过1100℃时衬里的使用寿命将会下降。为了克服金属换热器的这种温度限制，人们开发出了陶瓷管换热器。在实际应用中，这种装置材料可以让气体侧在1550℃的高温下运行，让预热空气侧在815℃的高温下运行。早期的陶瓷换热器由瓦片制成，并用耐火水泥粘结而成。

然而，热循环容易造成这些装置的连接处断裂和管子迅速变质。后来，人们开发出了各种短的碳化硅管，这些管子可以由位于空气总管里面的柔韧的密封材料进行连接。

早期设计产品的漏失率高达8-60%。在过去的两年中，人们已经设计出了新的产品，空气的预热温度可高达700℃，而漏失率也大大降低。

2.2 蓄热室

蓄热室适合于大容量的工作场所，已经广泛应用于玻璃和钢铁熔解炉。蓄热室的尺寸、回动间隔、砖块厚度、砖块的传导性及其蓄热比之间存在着重要的联系。其中，回动间隔是蓄热室的一个重要指标。回动间隔越长，则意味着蓄热时间越长，也就意味着相关的成本越高。同时，较长的回动间隔还会导致较低的平均预

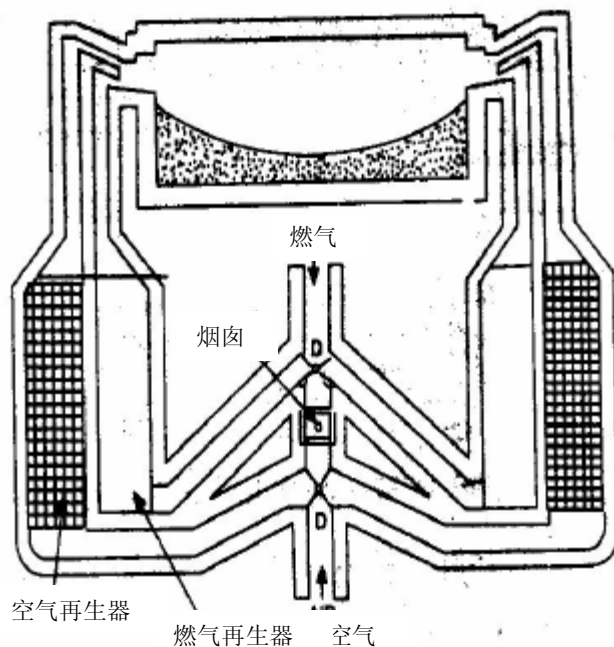


图 5. 蓄热室
(印度煤炭部, 1985)

热温度，从而不利于燃料的节约。此外，灰尘不断积聚并在蓄热室表面结渣将会降低它的热传递效率，就像加热炉老化一样。蓄热室壁的热损失和燃气的内漏以及空气的外漏都会降低热传递效率。

2.3 热轮

在中低温废热回收系统中，热轮的应用正在逐渐增加。

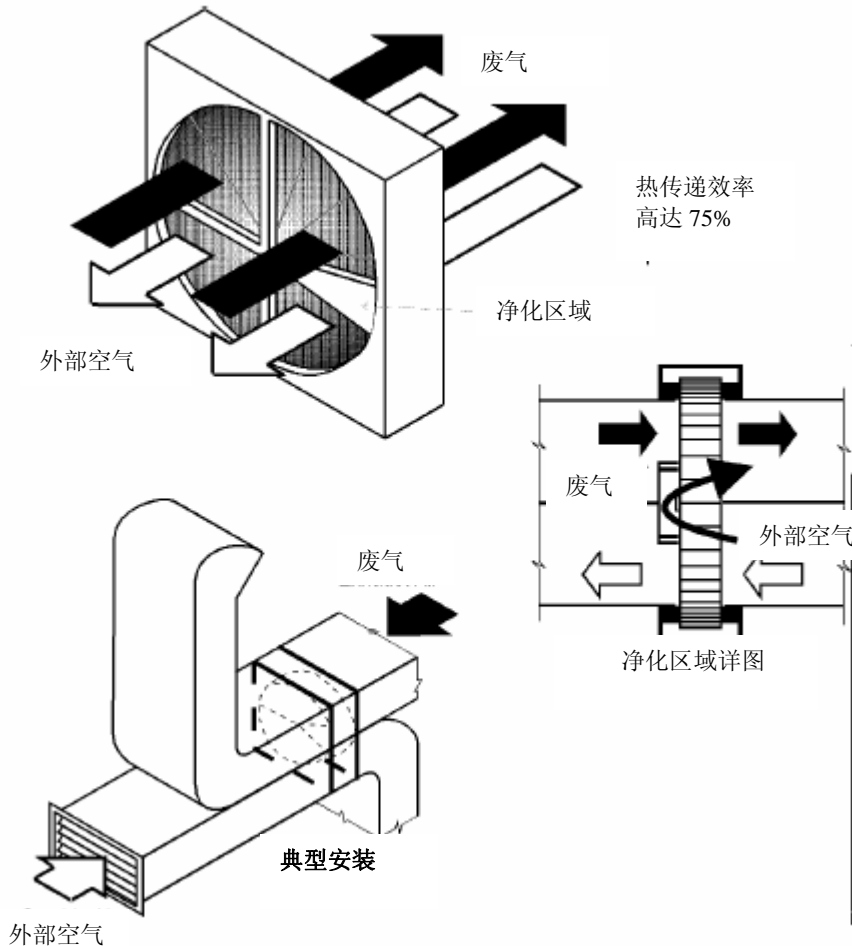


图 6. 热轮
(SADC, 1999 年)

热轮是一个相当大的多孔轮盘，由具有相当高的热容量的材料制成。它在两个并列管之间旋转：一个是冷气管，另一个是热气管。该轮盘的轴与两个管子平行，并且位于它们之间的隔层上。当轮盘慢慢旋转时，热空气就将显热（包含有潜热的水分）传递到该轮盘上。当轮盘正常旋转时，这些显热就被从轮盘处传递到冷空气中。这种蓄热室的显热传递的总效率可高达85%。有些热轮的直径长达21米，其空气处理能力可高达1130m³/分钟。

热轮的不同之处在于旋转蓄热室。在该装置中，基体位于围绕废气和气流旋转的气缸中。热量回收轮或能量回收轮是一个旋转的气热蓄热室，它可以将来自废气中的热量传递给进气。

热轮主要应用于大量具有较小温差的空气之间的热交换场所。加热和通风系统以及从干燥器的废气中回收热量都是该设备的典型应用领域。

2.4 热管

2.4.1 描述

热管传递热能的效率比最有名的导体—铜高出100倍。换句话说，热管是一个没有活动件、因此只需要进行最低维护的热能吸收和传递系统。

热管由三个单元组成，即：密封容器、毛细多孔结构和工作流体。其中，毛细多孔结构在整体上被制成容器管状的内表面并在真空状态下进行密封。当容器管在真空状态下进行密封时，应用于热管外表面的热能将会与其自己的蒸汽平衡。外界的热能将会使得热管表面附近的工作流体立即蒸发。这样形成的蒸汽将吸收气化中的潜热，同时这部分热管将成为蒸发器区域。然后，蒸汽将移动到管子的另一端，在这里热能被吸收，从而使得蒸汽重新凝结成液体，并因此释放出冷凝作用下的潜热。这部分热管作为冷凝器区开始工作。

最后，凝结的液体流回蒸发干燥区域。图7显示了热管的工作原理。

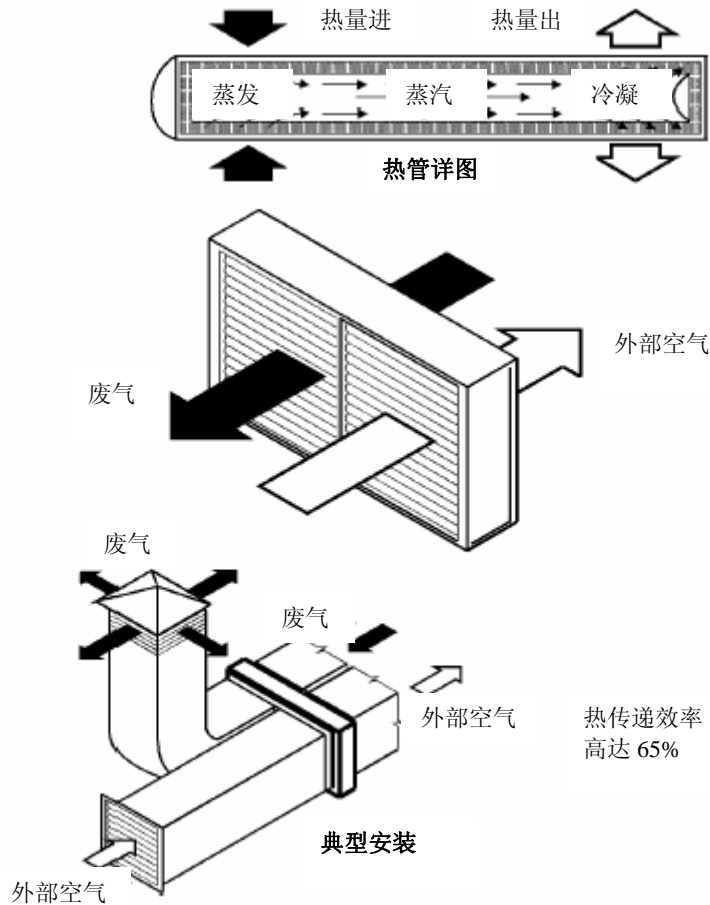


图7. 热管
(SADC, 1999年)

2.4.2 性能和优势

热管换热器（HPHE）是一个轻便而小巧的热量回收系统。由于该装置没有易耗的活动件，因此它事实上并不需要进行机械维护。此外，它不要输入运行动力，也不需要冷却水和润滑系统。并且，它还降低了对通风机功率的要求，同时增加了系统的总的热效率。热管热量回收系统能够在315°C的温度下运行，热量回收能力可达60-80%。

2.4.3 典型的应用

热管通常用于以下工业应用领域：

- 空间加热流程：热管换热器可以将加工过程中的废气热能用于建筑物加热。如果需要的话，可以将预热的空气进行混合。这样，有关提供额外的加热设备以便输送加热的补充空气的要求就会大大减少或消除。
- 进程间的热量传递：热管换热器可以从废气排放过程中回收废热能，并将这种能量传递给进来的加工空气。这样，进来的加工空气就会变热，从而用于同一加工程序/其它加工程序，因此降低了加工能源的消耗。
- 采暖、通风和空调(HVAC)方面的应用：
 - 冷却：在夏天，热管换热器可以对建筑物的补充新风进行预先冷却。这样，除了可以节约冷却系统的运行成本外，还能够降低总的冷却水平。可以从冷却废气中回收热能，并将其传递给热的供给补充空气。
 - 加热：在冬天，将以上过程进行反向操作，就可以预热补充新风了。
- 其他工业应用包括：
 - 预热锅炉燃烧层空气
 - 加热炉废热回收
 - 将热气干燥器的新鲜空气重新加热
 - 从催化脱臭设备中回收废热
 - 将加热炉的废热用作其它烘箱的热源
 - 用外部空气冷却密闭房间
 - 使用从热管省煤器里面的烟气中回收的废热来预热锅炉给水
 - 干燥、烤干和烘焙箱
 - 废蒸汽的回收
 - 砖窑（二次回收）
 - 反射炉（二次回收）
 - 采暖、通风和空调系统

2.5 省煤器

在供热系统中，可以配备省煤器，以便利用烟气的热量给锅炉给水进行预热。另一方面，在空气预热器中，可以使用废热来加热燃烧空气。这两种情况都会相应地降低锅炉燃料的消耗。

烟气经过省煤器或预热器时，其温度每降低220℃，就会节约锅炉1%的燃料消耗。换句话说，通过使用省煤器每升高锅炉进水温度60℃，或者通过使用空气预热器每升高燃烧空气温度200℃，就会节约锅炉1%的燃料消耗。

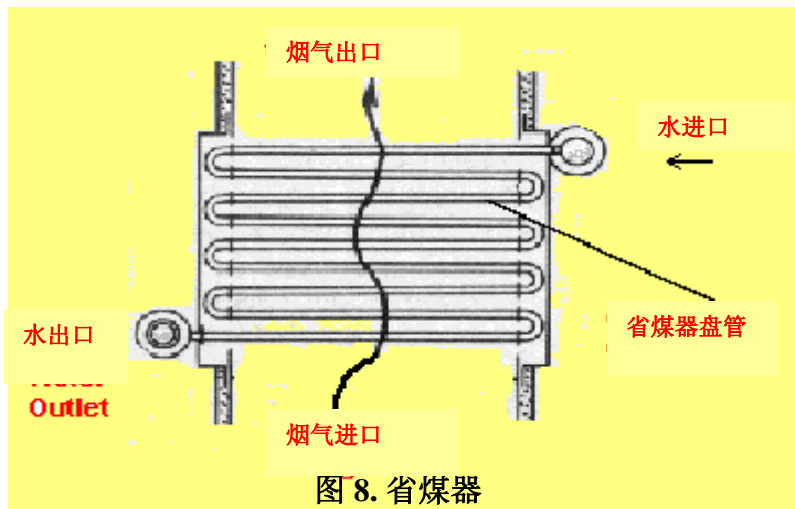


图 8. 省煤器
(能源效率局, 2004 年年)

2.6 管壳式换热器

当包含废热的媒介物是液体或蒸汽，而且用于加热另一种液体时，由于这两条路径都必须密封以便控制其相应流体的压力，因此必须使用管壳式换热器。壳体中包含有管束，通常还包含内挡板，以便引导壳体中的流体以多重路径流经管子。本质上讲，壳体不如管子坚固，因此高压液体将在管子内循环，而低压液体则流经壳体。当蒸汽包含有废热时，它通常会凝结，从而将其潜热释放给被加热的液体。在此项应用中，蒸汽几乎始终被包含在壳体中。如果想要进行相反操作，蒸汽在细的平行管内的冷凝将会造成流动的不稳定性。管壳式换热器有多种标准尺寸，其管子和壳体也有多种材料组合。管壳式换热器的工作原理如下图9所示。

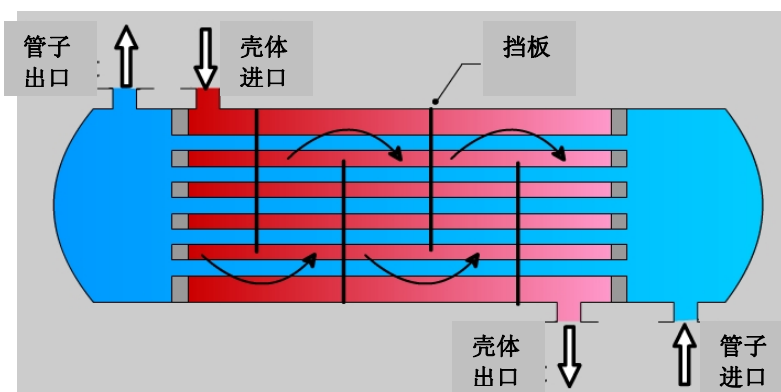


图 9. 管壳式换热器
(阿拉伯法哈德国王石油及矿物大学, 2003 年)

管壳式换热器的典型应用包括使用冷却和空调系统的冷凝液中所包含的热量来加热液体；以及使用生产用汽的冷凝液，加热炉门、炉篦和管支架的冷却剂，发动机、空气压缩机、轴承和润滑剂的冷却剂，以及蒸馏过程的冷凝液中所包含的热量来加热液体。

2.7 板式换热器

在温差不大的情况下，热交换表面的成本是一个主要的成本因素。解决该问题的一个方法是使用板式换热器。该换热器由一系列独立的平行板组成，这些平行板共同构成一个细的流路。每块板都通过垫圈与相邻的板分离，热蒸汽平行通过选择板，而将要被加热的液体则在热板间平行通过。为了提高热传递效率，这些板被制成了波纹状。

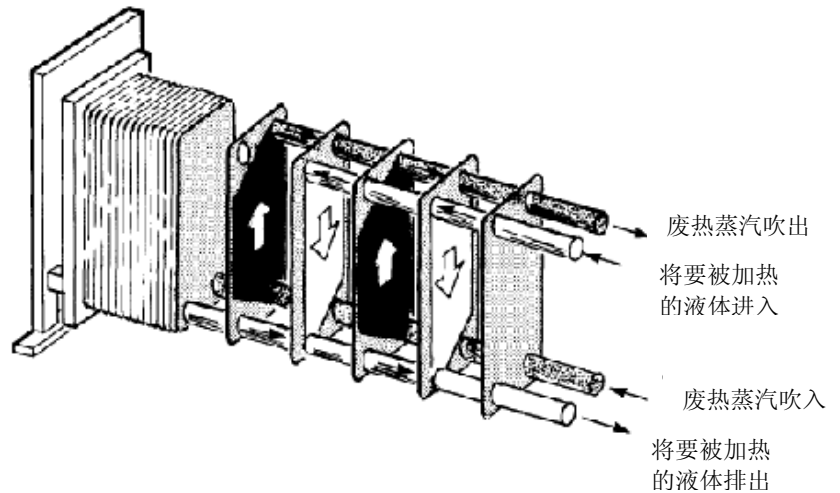


图 10. 板式换热器
(加拿大农业与农业食品部)

流经该换热器顶盖底口的热液允许向上从每两块板之间通过，而在顶盖上部的冷液则允许向下从奇数板之间通过。如果热液和冷液的方向相反，则以上情形被描述为返流。板式换热器的工作原理如图10所示。

板式换热器的典型工业应用包括：

- 牛奶包装厂的巴氏灭菌环节。
- 食品工业的蒸发装置。

2.8 围绕盘管换热器

围绕盘管换热器在原理上非常类似于热管换热器。来自热流体的热量通过被称为热传导液的中间流体传递给较冷的流体。这种闭合循环的一个盘管被安装在热蒸汽中，而另一个盘管则被安装在冷蒸汽中。然后，通过使用循环泵来保持这种流体的循环。

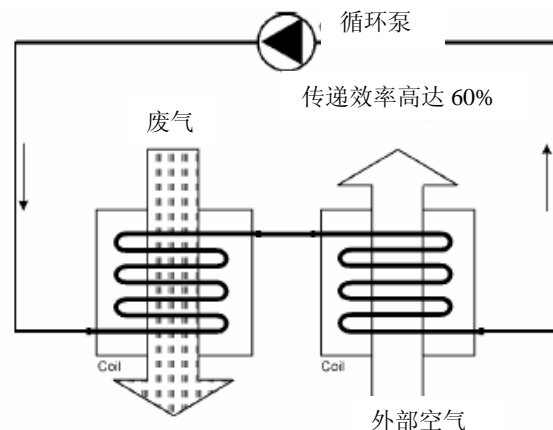


图 11. 围绕盘管换热器
南部非洲发展共同体 (SADC)，1999 年

在热的场所，如果冷的流体被放置在彼此远离而且不容易获取的地方将会更为有用。

围绕盘管换热器的典型工业应用包括通风热量回收，空调和低温热量回收。

2.9 废热回收锅炉

废热回收锅炉通常是水管锅炉。在这个锅炉中，来自燃气轮机和焚烧炉等的热废气经过大量的含水平行管。这些水在平行管中蒸发，然后被收集在汽包中。之后，这些蒸发的水分从这个汽包中引出，用作加热或加工蒸汽。

废气通常都处于中温范围内。如果给水管装上翅片以便增加燃气侧的有效热传递面积，为了节省空间，可以使用较小型的锅炉。图12显示了一个泥包，使热废气拥有两倍路径的一组管子，以及用于收集在水面上方所产生的蒸汽的汽包。产生蒸汽的压力和产生蒸汽的速度取决于废热的温度。以液体形式出现的纯蒸汽压力是作为该蒸汽蒸发来源的液体温度的一个功能。蒸汽表显示了饱和压力和温度之间的这种关系。如果废气中的废热不足以产生所要求的生产用汽数量，那么就可以添加辅助燃烧器，以便燃烧废热锅炉或废气流经的后燃器中的燃料。废热锅炉的容量为 25m^3 ，废气处理速度大约为 $30,000\text{m}^3/\text{min}$ 。

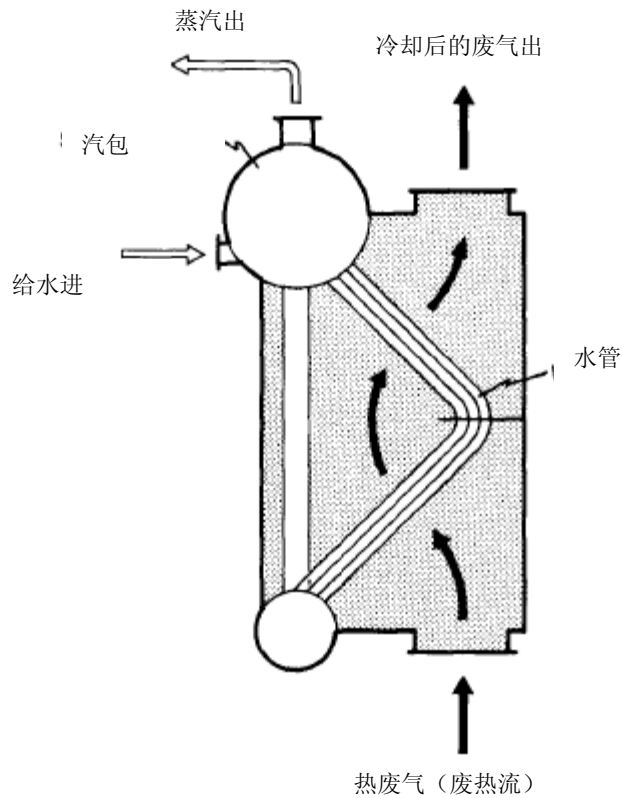


图 12. 双路径水管废热回收锅炉
(加拿大农业与农业食品部)

2.10 热泵

在上面所讨论的各种商业选择方案中，我们发现废热都是从热的流体被传递到温度较低的流体中。热量必须本能地“向下”流动，即从高温系统向低温系统流动。如果能量被不断地传递或转换的话，它的有效利用空间就会越来越小。最后，能量会由于强度过低（存在于低温介质中）而不再发挥作用。

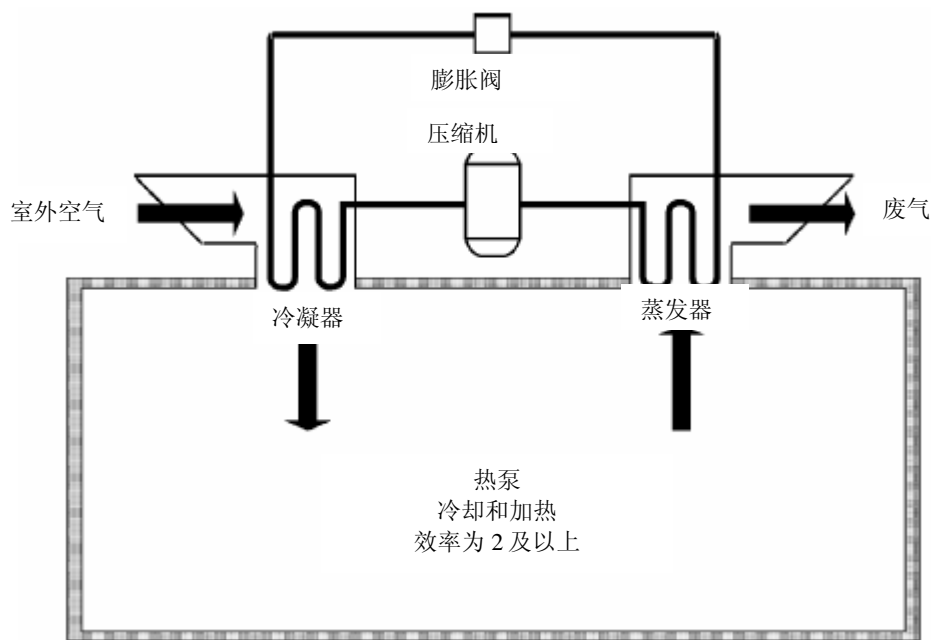


图 13. 热泵工作原理图
(SADC, 1999 年)

由于冷凝腐蚀液的风险，将温度低于 120°C （或者，最好为给出安全裕量的 150°C ）的流体设定为进行废热回收的界限，这已经成为工业操作上的基本规则。然而，由于燃料成本持续上升，而这些废热刚好也可以进行回收，以便用于空间加热和其他低温应用。通过使用被称为热泵的热动力系统，就能够使以上所讨论的自发能量流反向流动。

大多数热泵都是根据蒸汽压缩循环的原理工作的。在这个循环中，循环物质与相应来源（具有入口温度的废热）和使用者（在过程中将要使用的热量，出口温度）流完全分离，然后以循环的方式被重新使用，因此，该循环被称为‘闭合循环’。在热泵中，将会发生以下过程：

- 在蒸发器中，热量被从热源中提取出来，以便煮沸循环物质；
- 压缩机压缩循环物质，从而提高其压力和温度。然后，压缩机压缩低温蒸汽，这种压缩需要外功。作用于蒸汽的这种外功开始提高它的压力和温度，并达到能够使用其能量的水平；
- 热量被输送到冷凝器；
- 循环物质（工作流体）的压力在节流阀里降低到在蒸发器中的水平，然后在节流阀中重复该循环。

热泵是作为空间加热系统被开发出来的。在这个系统中，通过使用电动机驱动的压缩机来实施压缩功，将周围空气、水或土壤中的低温能量提高到加热系统的温度。热泵的工作原理如图13所示。

热泵能够将热量提高到两倍于其所消耗的能量水平。热泵的应用潜力正在不断增加，而且通过在主要的过程流中使用和升级该装置，越来越多的工业已经从回收低级废热的过程中受益。

如果热泵的加热和冷却性能能够组合使用的话，它的应用将最有前途。关于这点的一个例子就是塑料厂。在这里，失去了热量的冷却水用于冷却注塑机，而来自热泵的热量输出则用于提供工厂或办公室供暖。关于热泵设备的其他例子包括产品干燥、保持干燥的存储环境和干燥压缩空气等。

2.11 热压缩机

在许多情况下，如果没有任何更好的重新利用选择方案的话，可以将压力非常低的蒸汽在冷凝后重新用作水。在许多情况下，通过使用压力非常高的蒸汽压缩这种低压蒸汽并将其重新用作中压蒸汽是可行的。蒸汽中的主要能量存在于它的潜热值之中，因此热压缩将为废热回收提供一个很大的改进机会。

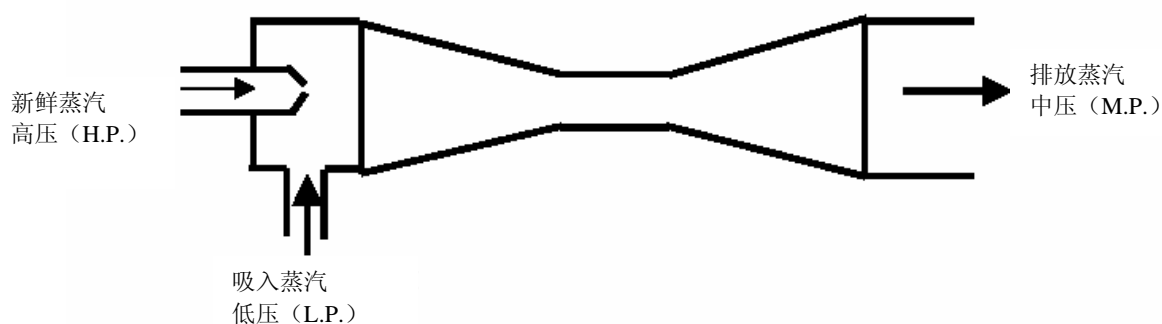


图 14. 热压缩机

热压缩机是一个带有管口的简单设备。在该设备中，高压蒸汽被加速变成高速流体。这将使得它通过动量传递带走低压蒸汽，然后在发散文丘里管中重新压缩。关于热压缩机的工作原理如图14所示。

热压缩机通常用于蒸发器中。在蒸发器里，沸腾的蒸汽被再次压缩，并用作加热蒸汽。

3. 废热回收的评估

本节说明如何评估废热回收的可能性并提供具体实例。

3.1 确定废热质量

在回收废热时，必须首先考虑废热的质量。

根据加工类型的差异，从工业加热炉或干燥炉中的冰冻冷却水到高温废气之间的任何温度下的废热都可以回收利用。通常情况下，较高的温度等同于较高的热回收质量和较大的成本效益。在关于废热回收的任何研究中，对回收热量的某些运用进行研究是绝对必要的。典型的废热应用实例应该是预热燃烧空气、空间加热、预热锅炉给水或生产用水。在高温热回收方面，可以使用废热回收串联系统，以便保证最大可能地回收最大数量的热量。关于此项废热回收技术的一个例子是高温阶段用于空气预热和低温阶段用于过程给水加热或产生蒸汽的场合。

3.1.1 废热质量和可能的应用场合

在考虑热量回收的潜力时，说明所有可能的废热来源及其质量和可能的应用场合将非常有用（见表1）。

表 1. 废热来源和质量

序号	废热来源	废热质量和可能的应用场合
1	烟气中的热量	温度越高，热回收的潜在价值越大
2	蒸汽流中的热量	与烟气中的热量相同，但是在凝结的情况下，也可以将潜热进行回收
3	设备表面所遗失的对流和辐射热量	低级热量--如果能够收集的话，可以用于空间加热或空气预热
4	冷却水中的热损失	低级热量--如果与进来的新鲜水进行交换的话，可以获得有用收益
5	提供冷冻水或处理冷冻水时的热损失	1. 如果能够用于降低冷却要求的话，将是高级废热 2. 如果冷却装置用作热泵的话，将是低级废热
6	离开生产过程的产品中所存储的热量	质量取决于温度
7	离开生产过程的气态和液态流体所含有的热量	如果严重污染、因此需要合金换热器的话，将是低劣废热

3.1.2 不同工业过程的回收潜力

可以从各种工业过程中回收废热，但要將高温、中温和低温废热区别开来。

图2给出了来自高温工业加工设备的废热温度。所有这些结果都来自直接的燃料燃烧过程。

表2. 处于高温范围内的各种来源的典型废热温度

装置类型	温度 (°C)
镍精炼炉	1370 – 1650
铝精炼炉	650 – 760
锌精炼炉	760 – 1100
铜精炼炉	760 – 815
钢加热炉	925 – 1050
铜反射炉	900 – 1100
平炉	650 – 700
水泥窑 (干式工艺)	620 – 730
玻璃熔窑	1000 – 1550
氢制品厂	650 – 1000
固体废物焚烧炉	650 – 1000
烟雾焚烧炉	650 – 1450

表3给出了来自中温加工设备的废热温度。此温度范围内的大部分废热都来自直接燃烧工艺设备的废气。

表 3. 处于中温范围内的各种来源的典型废热温度

装置类型	温度 (°C)
蒸汽锅炉废气	230 – 480
燃气轮机废气	370 – 540
往复式动力机废气	315 – 600
往复式动力机废气 (涡轮增压式)	230 – 370
热处理炉	425 – 650
干燥和烘焙箱	230 – 600
催化裂化装置	425 – 650
退火炉冷却系统	425 – 650

表4列出了低温范围内的一些热源。在此范围内，尽管在有低压蒸汽需求的情况下不可能完全排除蒸汽生产，但是从这些热源中提取功通常并不现实。可以通过补充的方式将低温废热用于预热目的。

表 4. 处于低温范围内的各种来源的典型废热温度

来源	温度 °C
生产用汽冷凝液	55-88
来自以下设施的冷却水：	32-55
炉门	
轴承	32-88
焊机	32-88
注塑机	32-88
退火炉	66-230
成型模	27-88
空气压缩机	27-50
泵	27-88

来源	温度℃
内燃机	66-120
空调和制冷冷凝器	32-43
液体釜式冷凝器	32-88
干燥、烘焙和烘烤箱	93-230
热加工液体	32-232
热加工固体	93-232

3.2 确定废热数量

在任何热回收情形中，必须首先了解可回收热量的数量和用途。

可以使用以下公式计算可能回收的热量总和：

$$Q = V \times \rho \times C_p \times \Delta T$$

式中：

- Q代表热含量（千卡）
- V代表物质的流量（m³/小时）
- ρ代表烟气的密度（kg/m³）
- C_p代表物质的比热（千卡/kg °C）
- ΔT代表温差（°C）

例子

通过从热的废水中回收热量，一家大的造纸公司找到了一个节约资金的机会。该公司经营范围内的废水排放量在75°C的温度下是10000kg/小时。公司决定不再将这些废水直接排放到排水沟中，而是让排放量为10000kg/小时、年平均温度为20°C的入口冷水先行流经具有自动反洗功能以减少污垢的逆流式换热器，以便对其进行预热。按照58%的热回收系数和每年5000个小时的操作时间计算，每年将节省的热量（Q）为：

$$Q = m \times \eta \times C_p \times \Delta T$$

式中：

- Q代表热含量（千卡）
- m代表流量
- C_p代表物质的比热（千卡/kg °C）（在有水的情况下）
- ΔT代表温差（°C）
- η代表回收系数

因此，在这个例子中

$$\begin{aligned}
 m &= 1000 \text{ kg/小时} = 10000 \times 5000 \text{ kg/年} = 50000000 \text{ kg/年} \\
 C_p &= 1 \text{ kCal/kg } ^\circ\text{C} \\
 \Delta T &= (75 - 20) ^\circ\text{C} = 55 ^\circ\text{C} \\
 \eta &= \text{热回收系数} = 58\% \text{ 或者 } 0.58
 \end{aligned}$$

热能设备：废热回收

Q的计算结果如下：

$$\begin{aligned} Q &= 50000000 \times 1 \times 55 \times 0.58 \\ &= 1595000000 \text{千卡/年} \end{aligned}$$

总热值（油的总热值）= 10,200 kCal/kg

相当节油量 = $159500000 / 10200 = 156372$ 升

油的成本 = 0.35美元/升

节约开支 = 54730美元/年

4. 能源效率机会

潜在的废热回收领域取决于工业过程的类型，因此包含于其他能量设备模块中。

5. 方案列表

在进行废热回收时，最大程度地提高能源效率的最重要的选择方案包括：

- 从烟气、发动机冷却水、发动机废气、低压废蒸汽、干燥箱废气和锅炉排放的废水等之中回收热量。
- 从焚烧炉的废气中回收热量。
- 使用废热进行燃料油加热、锅炉给水加热和外部空气加热等。
- 使用冷冻机的废热来预热热水。
- 使用热泵。
- 使用吸收制冷。
- 使用热轮、全自动改料系统、热管系统和空气对空气交换器。

回收废热的选择方案包含在其他能量设备模块中。

6. 工作表

本节包括以下工作表：

- 热量回收调查问卷
- 废热换热器和应用列表

工作表1. 热量回收调查问卷

1. 你想从烘箱和加热炉等设备中的哪个设备里回收热量？

- | | |
|---------|-----------|
| • 烘箱 | • 窑 |
| • 烟气 | • 熔解炉 |
| • 干燥器 | • 锅炉 |
| • 焙炉 | • 压铸机 |
| • 加热炉 | • 圆顶炉 |
| • 油漆干燥器 | • 废气 |
| | • 其他（请说明） |

2. 热侧流：

- a. 在什么温度下热废气将离开该设备？
- b. 这种热废气的数量是多少？

3. 该热废气（天然气、丙烷和2号燃料油）是否清洁，或者说它是否包含诸如硫和氯化物等污染物或腐蚀剂？

清洁：	污秽：
废气来自：	废气来自和/或包含：
_____ 空气	_____ 燃料油
_____ 天然气	_____ 煤
_____ 丙烷	_____ 硫 _____%
_____ 燃料油	_____ 氯化物 _____%
_____ 电力供应	_____ 油漆蒸汽 _____%
_____ 其他	_____ 其他 _____%

4. 冷侧流：

进流温度	°C	
进流速	°C	
期望的出流温度	°C	
将要回收的能量	kJ/hr	
有效流速	L/s	

5. 燃料成本：（USD/kg）

6. 工作时间

工作表2. 废热换热器和应用列表

热量换热器	温度范围	典型来源	典型应用
辐射换热器	H	焚烧炉或锅炉废气	燃烧空气预热
对流换热器	M-H	浸渍或退火炉、熔解炉、后燃器、燃气焚烧炉、辐射管式燃烧炉和再热炉	燃烧空气预热
加热炉蓄热室	H	玻璃和钢铁熔解炉	燃烧空气预热
金属热轮	L-M	烘烤和干燥箱，锅炉废气	燃烧空气预热，空间预热
陶瓷热轮	M-H	大型锅炉或焚烧炉的废气	燃烧空气预热
翅管式蓄热室	L-M	锅炉废气	锅炉补充水预热
管壳式蓄热室	L	制冷冷凝液、废蒸汽、蒸馏冷凝液、发动机冷却剂、空气压缩机、轴承和润滑剂	需要加热的液体流
热管	L-M	干燥、烘烤和烘焙箱、废蒸汽、空气干燥器、干燥炉和反射炉	燃烧空气预热、锅炉补充水预热、产生蒸汽、家庭热水和空间加热
废热锅炉	M-H	燃气轮机、往复式发动机、焚烧炉和加热炉的废气	产生热水或蒸汽

热能设备：废热回收

7. 参考资料

加拿大农业与农业食品部、电子出版物部。“加拿大食品和饮料工业的热量回收”。2001年。www.agr.gc.ca/cal/epub/5181e/images/5181e_pic85.gif 和 www.agr.gc.ca/cal/epub/5181e/5181-0007_e.html

印度政府煤炭部。“煤炭和工业炉—有效利用”。1985年。

Hardtech集团。www.hardtech.es/hgg_tt_hrt.0.html

阿拉伯法哈德国王石油及矿物大学。2003年。

http://faculty.kfupm.edu.sa/me/antar/Shell_Tube/classes/Shell-and-tube.jpg

石油部，石油节约研究协会（PCRA）。“加热炉和废热回收的燃料经济”。《工业小册子5》。1998年。www.pcr.org

Reay, D.A.和 Span, F.N. 《热回收系统》。1979年。

Reay, D.A. “加工工业中的低温废热回收”。《良好实践指南》第141期。1996年。

南部非洲发展共同体（SADC）能源部门。《第15模块》。《热回收系统》。作为加拿大国际开发署的SADC工业能源管理项目的一部分。www.siemco.zw/manuals/htm1999年。

澳大利亚的维多利亚持久能源局（SEAV）。“最佳实践设计、技术和管理”，《第5模块》。2004年。

www.seav.vic.gov.au/ftp/advice/business/info_sheets/HeatRecoveryInfo_0_a.pdf

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。