

5. 蒸汽的有效利用与蒸汽疏水阀

有效利用蒸汽所含的热能，不仅可以减少作为提供热源的锅炉系统的维持经费，同时可以延长蒸汽使用设备或机器的使用寿命，这明显的道理众所周知，但是到具体实施的开展却不知如何着手，作为遗留问题长期存在于各个工厂已成为普遍现象。

在蒸汽系统中有效使用蒸汽所含有的热能主要有以下 3 大要素可以作为参考。

- 减少热能损失
- 向蒸汽使用设备提供适量的蒸汽
- 有效利用冷凝水

5.1 减少热能损失

热能损失是指蒸汽管道及蒸汽使用装置，因放热造成热量损失的现象。其主要原因根据蒸汽系统的运转状况的不同而内容不同。

(1) 运转初期

蒸汽系统运转由开始至达到正常运转的时期内，因蒸汽管道及装置的升温需要消费大量的蒸汽热能。停止频度小的系统可以忽略不计此蒸汽热能的消耗，但是像每周或是每日间隔进行机器或装置运转的情况下则该消耗的热能不容忽视。可以通过对机器或装置实施保温措施减慢其冷却速度或是对发生的冷凝水进行回收利用来减少热能的消耗浪费。

(2) 正常运转时期

达到正常运转期后，热能的损失主要在于蒸汽输送管及换热器表面的自然散热部分和被排出的冷凝水所含的热量。换热设备的负荷要求越大其体积就越大，放热量也就越大。

5.2 向蒸汽使用设备提供适量的蒸汽

在向换热装置提供蒸汽的情况下，遵守换热装置所定最高使用压力及其最高使用温度等使用条件是必要的，但是在遵照诸条件的同时也需要考虑到换热装置的负荷情况进行蒸汽的供给。例如换热装置入口处的压力较低的情况下蒸汽所含有的潜热量相对高压时大，这对蒸汽的有效利用是合理的。

但是另一方面蒸汽使用压力越低其蒸汽饱和温度点越低。蒸汽换热装置的加热侧与被加热侧之间的温度差就相对小，如要提高换热效率则需要将换热面积增大。并且蒸汽疏水阀进口处与出口处之间的压差小，致使蒸汽疏水阀的排出能力相对减弱等相关问题建议在设计初期进行研讨。

5.3 有效利用冷凝水的热能

蒸汽所含有的潜热能量在释放后，蒸汽会由气体状态变为液体状态成为冷凝水。各种生产过程中所产生的冷凝水必须迅速的排出于换热装置，冷凝水的滞留会带来换热装置换热效率的降低及在运转再开时会有[水击现象]的发生。但是被排出的冷凝水本身还含有热能称之为显热，该热量仍具有利用的价值。

冷凝水所含热能的利用可以分为以下三大类。

- 闪蒸蒸汽的利用
- 使用热静力调温式蒸汽疏水阀对其显热进行利用
- 冷凝水回收

5.3.1 闪蒸蒸汽的利用

如「1.3.4 闪蒸蒸汽」中所述，冷凝水在由高压环境进入低压环境时会发生再蒸发现象，冷凝水的一部分成为闪蒸蒸汽。该闪蒸蒸汽与由锅炉制造的蒸汽相同，其含有的潜热量可以有效利用。

由换热装置被排出的高温冷凝水同样在低压环境下会再蒸发，一部分冷凝水生成为饱和蒸汽，为有效利用其再蒸发蒸汽需要设置闪蒸罐来将其调整为稳定压力的蒸汽。由蒸汽疏水阀被排出的高温冷凝水同样可以回收再利用。

如图 5.1 则是典型的回收再利用范例。蒸汽式空气预热器内所发生的高温冷凝水通过蒸汽疏水阀排出引致闪蒸罐并在闪蒸罐内再蒸发，所生成的蒸汽在低压环境中使用，而余留的冷凝水则运往低温热水换热器装置得以再利用。

在闪蒸罐内闪蒸蒸汽的生成率请参照表格 5.1。

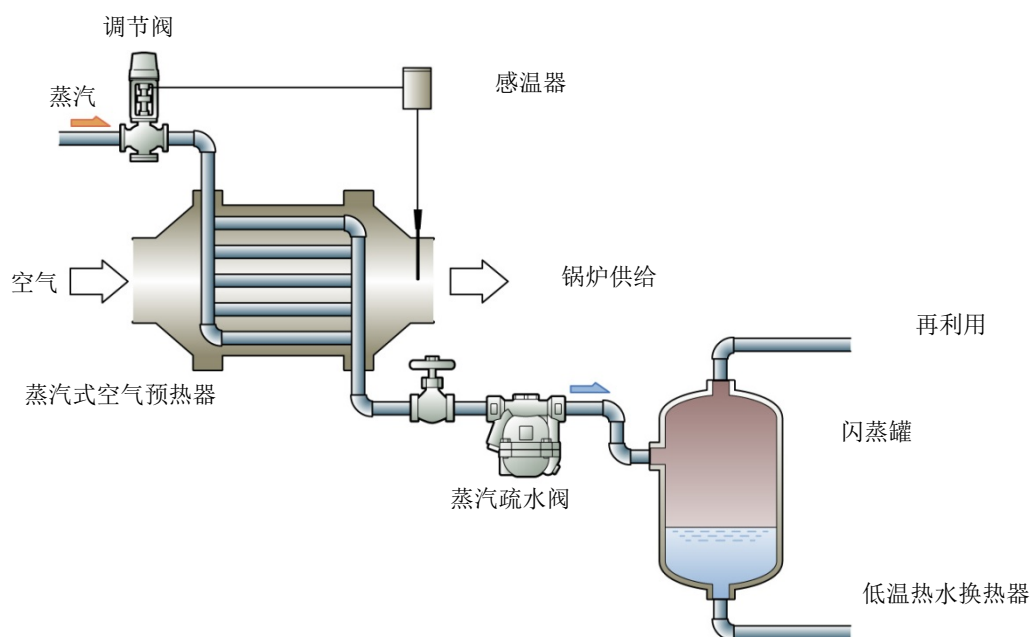


图 5.1 闪蒸蒸汽利用范例

表5.1 闪蒸蒸汽量(%)

高压侧 压力 (MPa)	闪蒸罐内的压力(MPa)															
	0	0.03	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
0.1	3.7	2.5	1.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.2	6.2	5.0	4.2	2.6	1.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.3	8.1	6.9	6.1	4.5	3.2	2.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.4	9.7	8.5	7.7	6.1	4.8	3.6	1.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	11.0	9.8	9.1	7.5	6.2	5.0	3.1	1.4	—	—	—	—	—	—	—	—
0.6	12.2	11.0	10.3	8.7	7.4	6.2	4.3	3.0	1.3	—	—	—	—	—	—	—
0.8	14.2	13.1	12.3	10.8	9.5	8.3	6.4	4.8	3.4	2.2	—	—	—	—	—	—
1.0	15.9	14.8	14.2	12.5	11.2	10.8	8.2	6.6	5.3	4.0	1.9	—	—	—	—	—
1.2	17.4	16.3	15.5	14.0	12.7	11.6	9.8	8.2	6.9	5.7	3.5	1.7	—	—	—	—
1.4	18.7	17.6	16.9	15.4	14.1	13.0	11.2	9.6	8.3	7.1	5.0	3.2	1.5	—	—	—
1.6	19.0	18.8	18.1	16.6	15.3	14.3	12.4	10.9	9.6	8.4	6.3	4.5	2.9	1.4	—	—
1.8	21.0	19.9	19.2	17.7	16.5	15.4	13.6	12.1	10.8	9.6	7.5	5.7	4.1	2.7	1.3	—
2.0	22.0	20.9	20.9	18.8	17.5	16.5	14.7	13.2	11.9	10.7	8.7	6.9	8.3	3.8	2.5	1.2

5.3.2 使用热静力调温式蒸汽疏水阀对其显热进行利用

蒸汽疏水阀是将发生的冷凝水迅速排出于系统外的装置，一般而言冷凝水排出速度越快其性能越好。即使冷凝水滞留于系统中有利点也往往被忽视。

1970 年始 MIYAWAKI INC. 采用逆向思维方式，开发出刻意让冷凝水滞留于系统中并有效利用冷凝水所含有的显热量的调温式蒸汽疏水阀。事先根据使用条件设定适当的排凝温度（较饱和温度低的某一温度）使高于设定排出温度的冷凝水滞留。尤其适用于蒸汽伴热管线，大部分的蒸汽伴热管线在确保所需热量的同时可以允许冷凝水滞留来降低原生蒸汽的使用量。

调温式蒸汽疏水阀的主要特长有以下几点。

- 有效利用冷凝水所含有的显热量，尤其适用于蒸汽伴热管线。
- 滞留冷凝水的存在确保在蒸汽疏水阀内部形成水封状态确保无原生蒸汽泄漏。
- 冷凝水排出温度较饱和温度低，闪蒸蒸汽的发生量少或是基本没有。这同时可以给蒸汽疏水阀使用带来以下利点。
 - 减少阀瓣所受原生蒸汽的侵蚀，具有优良耐久性。
 - 因无大量闪蒸蒸汽发生，蒸汽疏水阀出口处的管道可以使用小口径。

图 5.2 为利用蒸汽显热所带来的蒸汽节减率。

例如 0.5MPa（蒸汽饱和温度为 159℃）时，冷凝水排凝温度设定为 70℃较饱和和冷凝水被排出时节减约 15%。

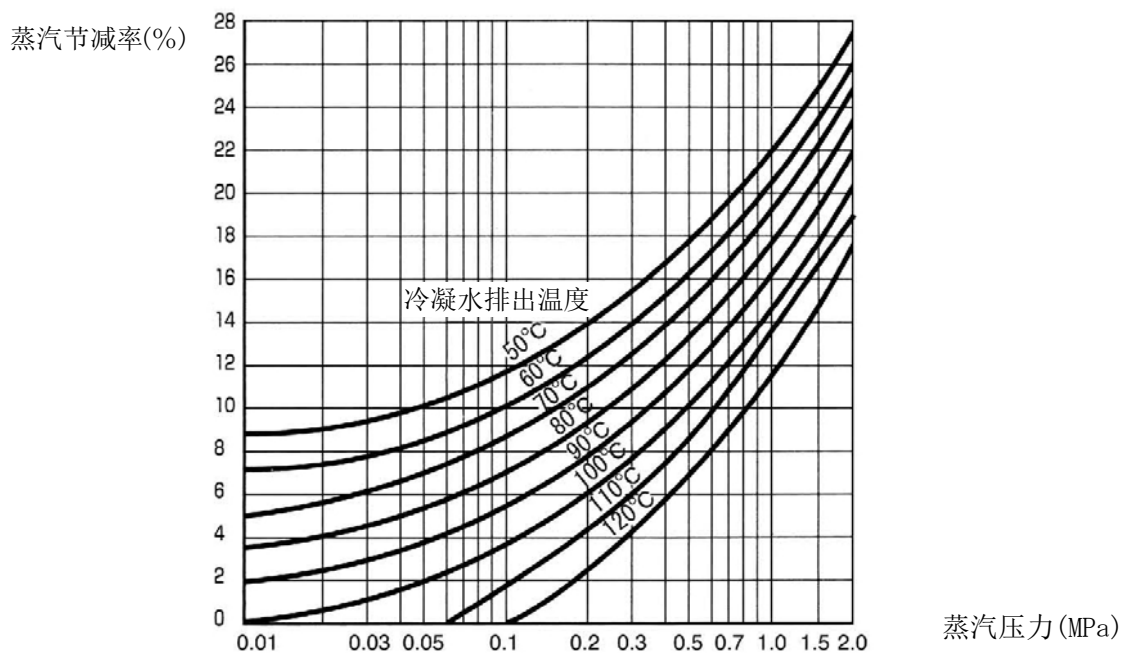


图 5.2 冷凝水排出温度与蒸汽节减率

5.3.3 冷凝水回收

蒸汽系统中所发生的冷凝水如被统一收集并再次利用，无论是经济方面还是在环境保护方面均有可观的收益。冷凝水回收的目的主要有两个方面 1. 将冷凝水所含有的热量的进行回收并再利用。2. 将冷凝水本身回收并再次利用。在这里以将冷凝水本身回收并作为锅炉供水再次利用的案例，来分析冷凝水回收所带来的利点及可观的经济性。

锅炉是将水在高压情况下使其蒸发成为蒸汽的装置。为了满足锅炉的工作需要，必须事前对水进行化学处理使其水质能够适应锅炉的生产条件制造出高质量的蒸汽。与此同时除锅炉所需燃料的费用以外，水的化学处理也是蒸汽的生产成本之一。锅炉的供水水质达不到要求时需要进行排污工程（blow down），即将不能满足使用条件的水排出。排污次数越多所排出的高温水所含有的热量就越多被浪费。

锅炉所生成的蒸气本身就是经过化学处理的水并且经过蒸馏过程，蒸汽在热量释放后成为冷凝水，该冷凝水作为锅炉的供水来使用是非常理想的。通过对冷凝水本身的再次利用可以达到以下效果。

- 降低锅炉给水的成本
- 减少燃料使用量
- 提高锅炉的蒸汽生成率
- 减少锅炉排污次数防止热量浪费
- 降低水的化学处理成本

同过冷凝水本身回收所带来的经济效果因人而异，以下例为概算作为参考。

前提条件

锅炉蒸汽制造量	: 10,000kg/h
运转时间	: 24 小时/天 (8,760 小时/年)。
锅炉给水温度	: 15°C
回收冷凝水温度	: 90°C (未全部回收的情况下)。
锅炉供水单价	: 50 日元/m ³
锅炉的运转实效	: 85%
燃料费 (天然气单价)	: 2,000 日元/GJ (千兆焦) (1.1 日元/kWh 千瓦) (1GJ=1,000,000kJ)

(燃料费用)

首先由燃料费开始计算，未回收的 90 度的冷凝水 1kg 所含有的热量，即是正常供水情况下将 15 度的给水温度提升至 90 度所需要的热量。在此期间因升温所需的加热费用如下计算 ($\Delta T = 90^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C} = 75^{\circ}\text{C}$)。

将水加热升温至所需温度其所需热量通过以下方程式进行计算，

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

单位内容如下

Q : 热量 (kJ)

m : 物质的质量 (kg)

Cp : 物质的比热 (kJ/kg°C) (水的比热为 4.19kJ/kg°C)

ΔT : 物质上升的温度 (°C)

在此例中, m, Cp, ΔT 分别为 1kg, 4.19kJ/kg°C, 75°C, 将其带入上記方程式结果如下,

$$Q = 1\text{kg} \times 4.19\text{kJ/kg}^\circ\text{C} \times 75^\circ\text{C} = 314\text{kJ}$$

这是在每小时每公斤的单位质量下所需要的热量结果, 那么在一年内所需要的热量即是,

$$10,000\text{kg/h} \times 314\text{kJ/kg} \times 8,760\text{h/年} = 27.506\text{GJ}$$

锅炉的运转实效为 85% 则所需全部热量为,

$$27,506\text{GJ} / 0.85 = 32,360\text{GJ/年}$$

燃料费 (天然气单价) 为 2,000 日元/GJ 那么一年所需的费用即为,

$$32,360\text{GJ/年} \times 2,000 \text{ 日元/GJ} = 64,720,000 \text{ 日元/年}。$$

(给水费用)

接下来是给水费用, 水的价格通以其体积来衡量。常温情况下水的密度约为 1,000kg/m³。那么在冷凝水没有回收的情况下一年所需的供水量即为,

$$(8,760\text{h/年} \times 10,000\text{kg/h}) / (1,000\text{kg/m}^3) = 87,600\text{m}^3/\text{年}$$

水的价格是 50 円/m³ 的情况下, 一年所需的成本即为。

$$87,600\text{m}^3/\text{年} \times 50 \text{ 円/m}^3 = 4,380,000 \text{ 円/年}。$$

将所需的燃料费及给水费用合计,

$$64,720,000 + 4,380,000 = 69,100,000 \text{ 日元}$$

由此可见如果在冷凝水在被回收利用的情况下可以降低近 7,000 万日元的使用成本。同时因水的化学处理所使用的费用及排污所造成的排水损失费用等合计起来回收的效果会更大。但是此处是以回收效率 100% 来计算, 在实际中需要考虑到回收效率。

5.4 冷凝水回收范例

冷凝水的回收主要分为开放式回收与密闭式回收两种方式。

开放式回收是将回收的冷凝水收集于开放式回收罐中，罐中压力为大气压。因此冷凝水的温度在 100 度以下。一部分的冷凝水通过再蒸发被排放于大气中。另一种密闭式回收系统也称之为有压回收，可以将高温冷凝水所含有的绝大部分热量进行再利用。但是两种回收方式的构筑费用截然不同，密闭式回收较开放式回收构筑费用增大很多。无论是选择开放式回收还是密闭式回收都需要根据实际生产状况及回收规模来综合断定。

常见的冷凝水回收系统的范例如以下各图所示（为直观表示图中仅表示重要设备）

1) 利用给水罐进行回收的情况

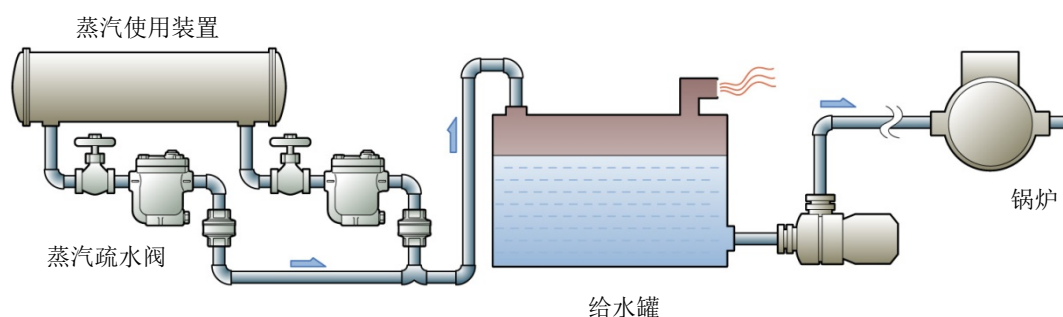


图 5.3 开放式冷凝水回收范例

通过蒸汽疏水阀的工作压差来将冷凝水回送至回收罐。

2) 利用阀泵回收冷凝水的情况

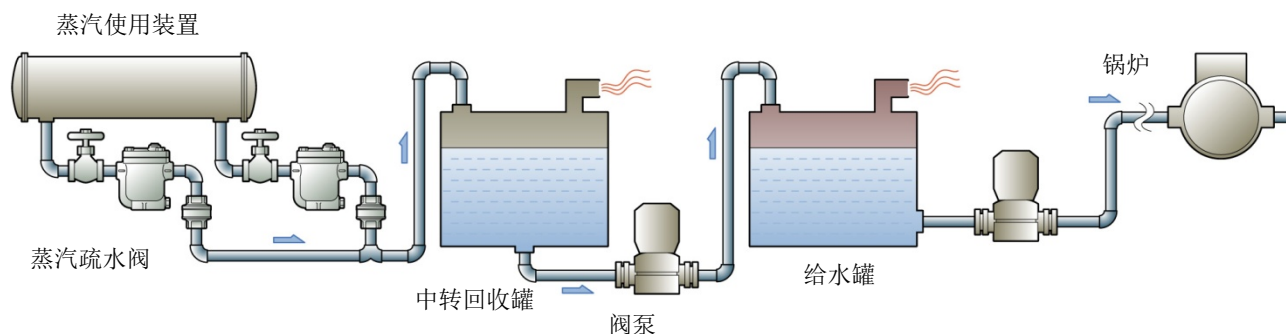


图 5.4 阀泵输送式回收范例

在蒸汽疏水阀的压差无法将冷凝水压送至回收罐时需要在回收途中利用中转阀泵来进行接续，因此需要设置收集冷凝水所用的中转回收罐。

3) 利用阀泵在蒸汽疏水阀出口处进行冷凝水回收

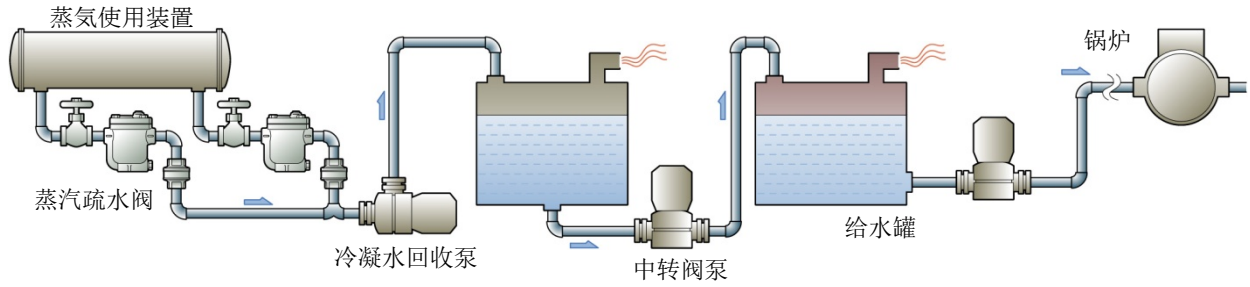


图 5.5 利用冷凝水回收泵进行的开放式回收

蒸汽疏水阀的压差过低的情况下，利用冷凝水回收泵设置与蒸汽疏水阀出口处，为冷凝水压送回收提供必要的驱动力。

4) 有压回收系统

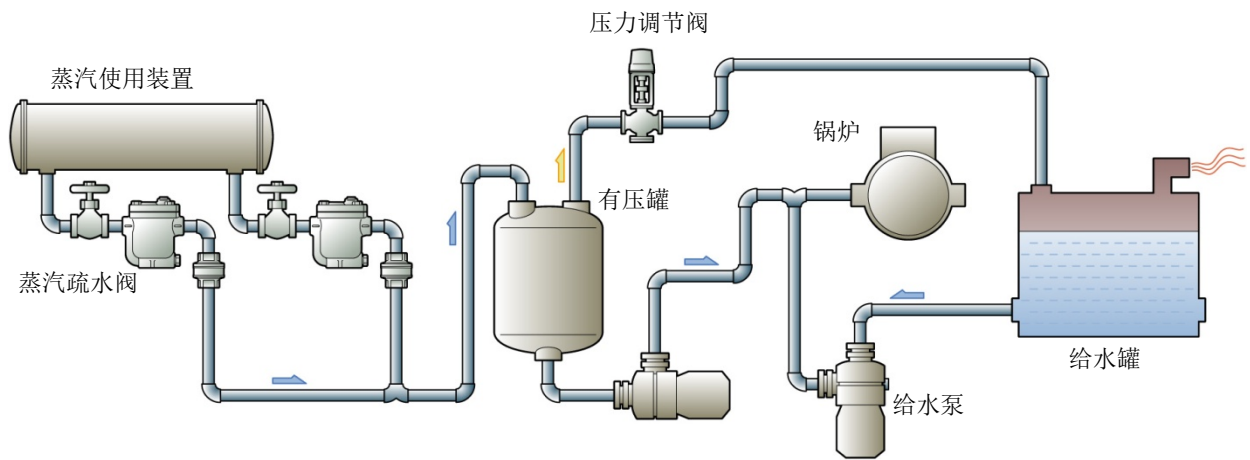


图 5.6 密闭式回收

回收的冷凝水通过冷凝水有压罐经由回收泵直接将其压送至锅炉内。在冷凝水有压罐压力过高时，通过其上方的压力调节，阀进行调解将过高压力过渡至给水罐以来保护电力回收泵。

5) 闪蒸蒸汽的有效利用

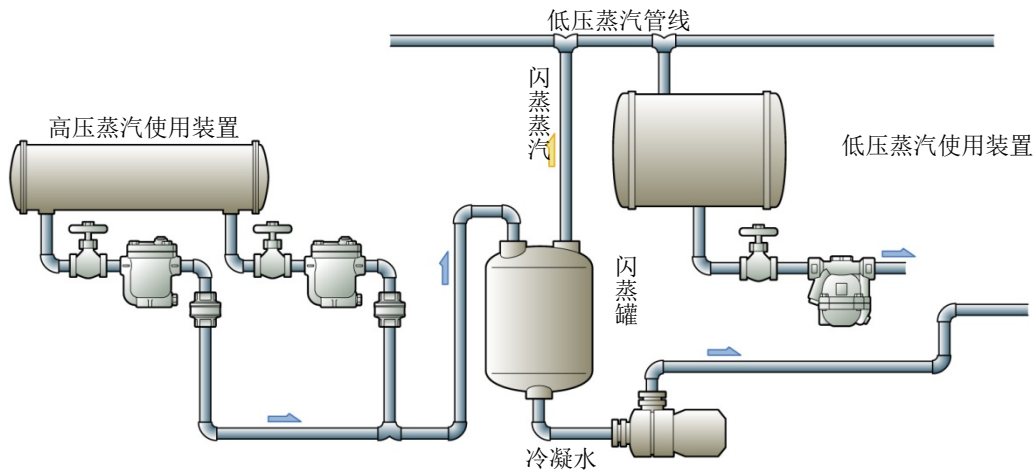


图 5.7 闪蒸蒸汽的利用及冷凝水的回收

回收的冷凝水通过闪蒸罐使其进行再蒸发并将该再蒸发蒸汽使用于低压环境。闪蒸后的冷凝水则通过回收泵进行其他利用，例如直接回送锅炉等。

6) 不纯蒸汽的再利用

正如前述冷凝水是经过水处理并被蒸馏几乎接近为纯水。但是在蒸汽使用系统内蒸汽在被消费的过程中会有异物或化学杂质等物质参杂于其中，使接近为纯水的冷凝水成为被污染的蒸汽。例如因化学反应器的破损而致使化学物质混入其中，或是在系统长时间停用后再启动时管壁或装置因腐蚀生锈的原因使异物混入其中。

类似于这样的被污染的冷凝水不适于回收至锅炉进行再利用，但是可以作为热媒使用于换热器等生产设备。

5.5 机械式冷凝水回收泵

冷凝水的回收多数通过蒸汽疏水阀的进出口压差进行自力回收工作。但是因冷凝水的回收管线过长或是因压差过小而不能进行自力回收的情况下。如前所述冷凝水的回收通过冷凝水回收泵达到输送目的。

冷凝水回收泵分为电动回收泵和机械式回收泵两种，较机械式冷凝水回收泵相比电动回收泵具有能够处理大量冷凝水回收的利点，但是机械式冷凝水回收泵可以在以下环境中发挥其重要作用。

- * 冷凝水的温度过高使用电动回收泵会发生[空转]现象的情况下。
- * 冷凝水的使用环境压力在大气压以下的情况下。
- * 电动回收泵无法使用的防爆指定区域。
- * 无法确保电源的情况下。

机械式冷凝水回收泵通常以冷凝水出口处的压力较入口处压力高的环境为使用前提。即蒸汽工作压力较低无法通过自力将冷凝水压送回收管的情况下。

5.5.1 工作原理

以下将常用机械式冷凝水回收泵的工作原理说明如下。

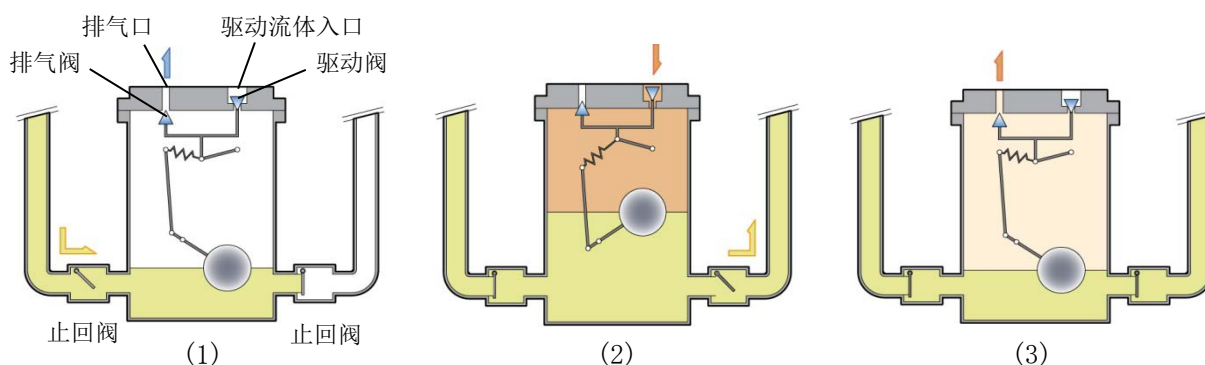


图 5.8 机械式冷凝水回收泵工作原理

机械式冷凝水回收泵本体内的浮球呈下垂状态，此时排气阀出于开放状态，驱动阀处于关闭状态。机械式冷凝水回收泵上方的冷凝水通过水头压力经由止回阀流入回收泵本体内部，该过程称之为「流入过程」(1)。伴随着流入冷凝水的增加浮球逐渐上升到达一定位置时自行切换（复起机构/Snap Action）关闭排气阀的同时开启驱动阀。随着驱动阀的开启驱动流体流入回收泵本体内部，回收泵本体内部的压力逐渐升高，该过程称之为「升压过程」。当本体内部的压力高于出口侧的压力时，本体内部的冷凝水经由出口处的止回阀被压送至回收管内。该过程称之为「排出过程」(2)。本体内部的冷凝水位逐渐下降浮球亦随之下降恢复至下垂一定位置时复起机构再次作用将驱动阀关闭，开启排气阀驱动流体被排出的同时本体内部的压力也随之降低该过程称之为「均压过程」(3)。此时入口处的冷凝水再次经由止回阀流入回收泵本体内部重复上述过程。

5.5.2 基本设备构成

图 5.9 为常用机械式冷凝水回收泵设备的基本构成。

换热器等蒸汽使用机器所发生的冷凝水通过蒸汽疏水阀排放至冷凝储蓄罐。储蓄罐位于机械式冷凝水回收泵的上方，在「流入过程」中通过水头压力将冷凝水压送至回收泵内部。「升压过程」中使用驱动流体将本体内部的冷凝水压送至回收管，该驱动流体除使用蒸汽以外还可以使用空气，氮气等其它非凝缩气体。「均压过程」中被排出的流体通过均压管排往冷凝储蓄罐这使回收泵本体内部的压力与储蓄罐内部压力相同达到减压目的。附属的止回阀，均压管及冷凝储蓄罐均为不可缺少的构成要素。

下图为开放型机械式冷凝水回收的系统事例。

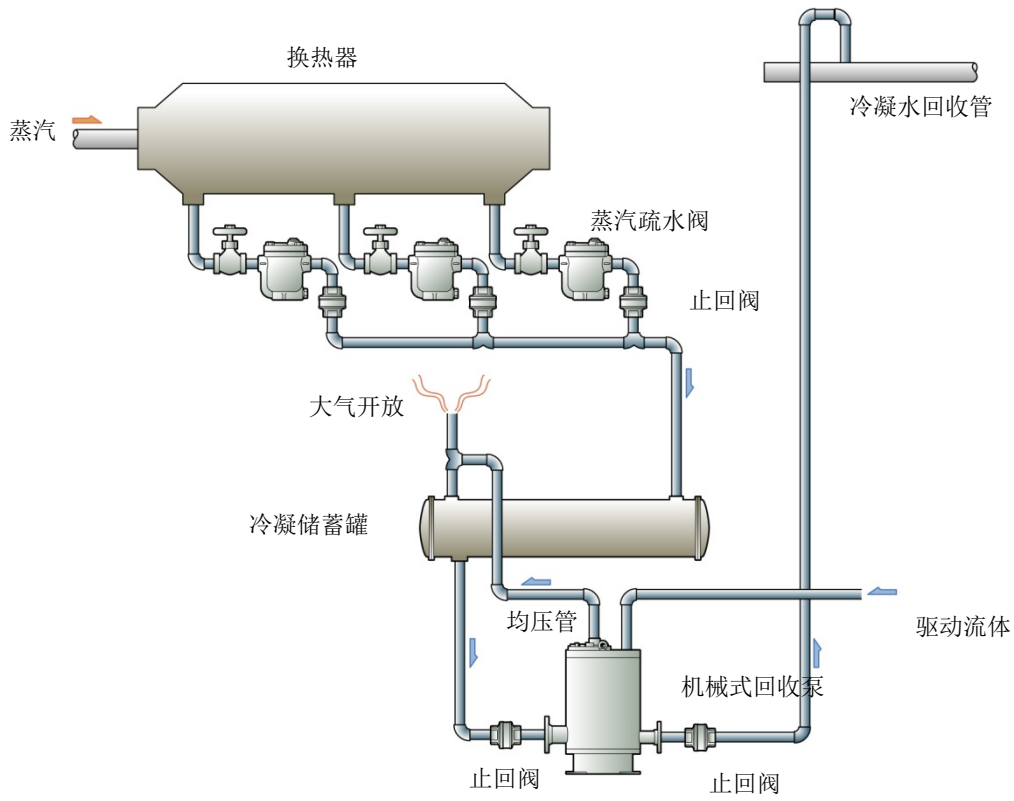


图 5.9 开放型机械式冷凝水回收