

5. 蒸汽的有效利用與蒸汽祛水器

有效利用蒸汽所含的熱能，不僅可以減少作為提供熱源的鍋爐系統的維持經費，同時可以延長蒸汽使用設備或機器的使用壽命，這明顯的道理眾所周知，但是到具體實施的開展卻不知如何著手，作為遺留問題長期存在於各個工廠已成為普遍現象。

在蒸汽系統中有效使用蒸汽所含有的熱能主要有以下3 大要素可以作為參考。

- 減少熱能損失
- 向蒸汽使用設備提供適量的蒸汽
- 有效利用冷凝水

5.1 減少熱能損失

熱能損失是指蒸汽管道及蒸汽使用裝置，因放熱造成熱量損失的現象。其主要原因根據蒸汽系統的運轉狀況的不同而內容不同。

(1) 運轉初期

蒸汽系統運轉由開始至達到正常運轉的時期內，因蒸汽管道及裝置的升溫需要消費大量的蒸汽熱能。停止頻度小的系統可以忽略不計此蒸汽熱能的消耗，但是像每週或是每日間隔進行機器或裝置運轉的情況下則該消耗的熱能不容忽視。可以通過對機器或裝置實施保溫措施減慢其冷卻速度或是對發生的冷凝水進行回收利用來減少熱能的消耗浪費。

(2) 正常運轉時期

達到正常運轉期後，熱能的損失主要在於蒸汽輸送管及換熱器表面的自然散熱部分和被排出的冷凝水所含的熱量。換熱設備的負荷要求越大其體積就越大，放熱量也就越大。

5.2 向蒸汽使用設備提供適量的蒸汽

在向換熱裝置提供蒸汽的情況下，遵守換熱裝置所定最高使用壓力及其最高使用溫度等使用條件是必要的，但是在遵照諸條件的同時也需要考慮到換熱裝置的負荷情況來進行蒸汽的供給。例如換熱裝置入口處的壓力較低的情況下蒸汽所含有的潛熱量相對高壓時大，這對蒸汽的有效利用是合理的。但是另一方面蒸汽使用壓力越低其蒸汽飽和溫度點越低。蒸汽換熱裝置的加熱側與被加熱側之間的溫度差就相對小，如要提高換熱效率則需要將換熱面積增大。並且蒸汽祛水器進口處與出口處之間的壓差小，致使蒸汽祛水器的排出能力相對減弱等相關問題建議在設計初期進行研討。

5.3 有效利用冷凝水的熱能

蒸汽所含有的潛熱能量在釋放後，蒸汽會由氣體狀態變為液體狀態成為冷凝水。各種生產過程中所產

生的冷凝水必須迅速的排出於換熱裝置，冷凝水的滯留會帶來換熱裝置換熱效率的降低及在運轉再開時會有[水擊現象]的發生。但是被排出的冷凝水本身還含有熱能稱之為顯熱，該熱量仍具有利用的價值。

冷凝水所含熱能的利用可以分為以下三大類。

- 閃蒸蒸氣的利用
- 使用熱靜力調溫式蒸汽祛水器對其顯熱進行利用
- 冷凝水回收

5.3.1 閃蒸蒸氣的利用

如「1.3.4 閃蒸蒸氣」中所述，冷凝水在由高壓環境進入低壓環境時會發生再蒸發現象，冷凝水的一部分成為閃蒸蒸氣。該閃蒸蒸氣與由鍋爐製造的蒸汽相同，其含有的潛熱量可以有效利用。

由換熱裝置被排出的高溫冷凝水同樣在低壓環境下會再蒸發，一部分冷凝水生成為飽和蒸汽，為有效利用其再蒸發蒸汽需要設置閃蒸罐來將其調整為穩定壓力的蒸汽。由蒸汽祛水器被排出的高溫冷凝水同樣可以回收再利用。

如圖5.1 則是典型的回收再利用範例。蒸汽式空氣預熱器內所發生的高溫冷凝水通過蒸汽祛水器排出引致閃蒸罐並在閃蒸罐內再蒸發，所生成的蒸汽在低壓環境中使用，而餘留的冷凝水則運往低溫熱水換熱器裝置得以再利用。

在閃蒸罐內閃蒸蒸氣的生成率請參照表格5.1。

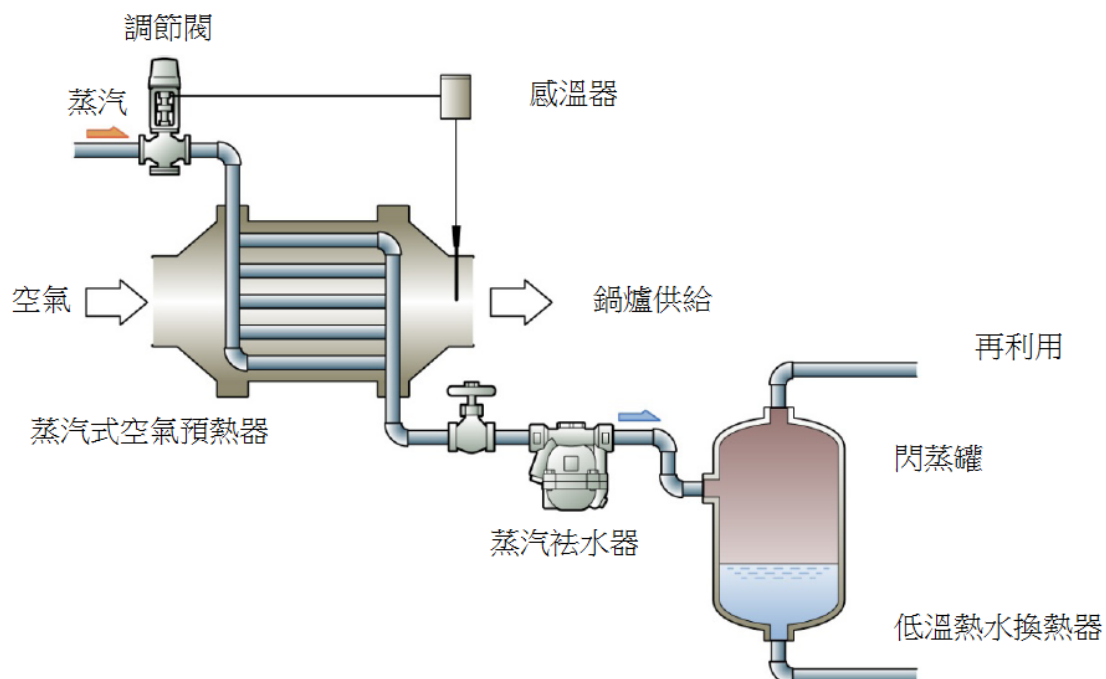


圖5.1 閃蒸蒸氣利用範例

表5.1 閃蒸蒸氣量(%)

高壓側 壓力 (MPa)	閃蒸罐內的壓力(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	5.3	3.8	2.5	1.2

5.3.2 使用熱靜力調溫式蒸汽祛水器對其顯熱進行利用

蒸汽祛水器是將發生的冷凝水迅速排出於系統外的裝置，一般而言冷凝水排出速度越快其性能越好。即使冷凝水滯留於系統中有利點也往往被忽視。

1970 年始MIYAWAKI INC. 採用逆向思維方式，開發出刻意讓冷凝水滯留於系統中並有效利用冷凝水所含有的顯熱量的調溫式蒸汽祛水器。事先根據使用條件設定適當的排凝溫度（較飽和溫度低的某一溫度）使高於設定排出溫度的冷凝水滯留。尤其適用於蒸汽伴熱管線，大部分的蒸汽伴熱管線在確保所需熱量的同時可以允許冷凝水滯留來降低原生蒸汽的使用量。

調溫式蒸汽祛水器的主要特長有以下幾點。

- 有效利用冷凝水所含有的顯熱量，尤其適用於蒸汽伴熱管線。
- 滯留冷凝水的存在確保在蒸汽祛水器內部形成水封狀態確保無原生蒸汽洩漏。
- 冷凝水排出溫度較飽和溫度低，閃蒸蒸汽的發生量少或是基本沒有。這同時可以給蒸汽祛水器使用帶來以下優點。
 - 減少閥瓣所受原生蒸汽的侵蝕，具有優良耐久性。
 - 因無大量閃蒸蒸汽發生，蒸汽祛水器出口處的管道可以使用小口徑。

圖5.2 為利用蒸汽顯熱所帶來的蒸汽節減率。

例如0.5MPa（蒸汽飽和溫度為159℃）時，冷凝水排凝溫度設定為70℃較飽和冷凝水被排出時節減約15%。

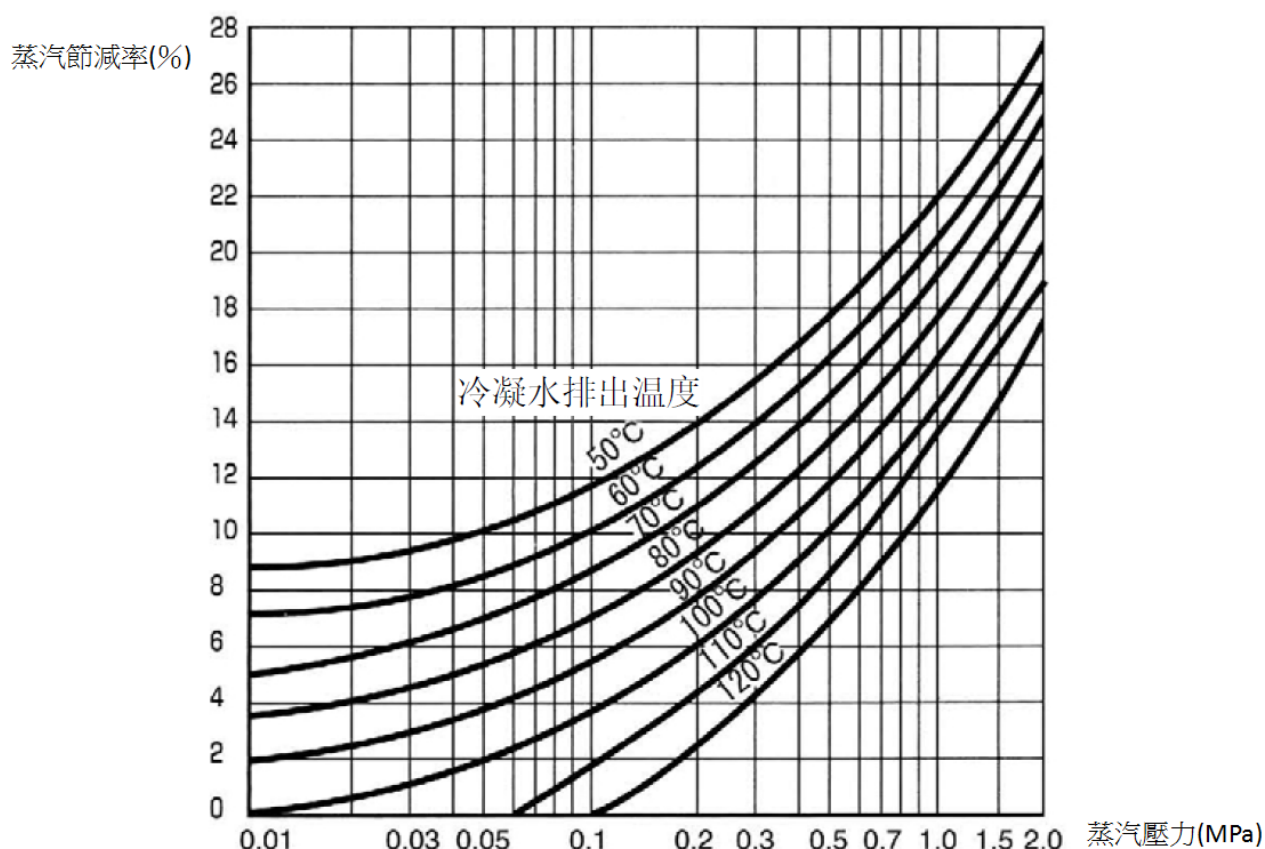


圖5.2 冷凝水排出溫度與蒸汽節減率

5.3.3 冷凝水回收

蒸汽系統中所發生的冷凝水如被統一收集並再次利用，無論是經濟方面還是在環境保護方面均有可觀的收益。冷凝水回收的目的主要有兩個方面1. 將冷凝水所含有的熱量的進行回收並再利用。2. 將冷凝水本身回收並再次利用。在這裡以將冷凝水本身回收並作為鍋爐供水再次利用的案例，來分析冷凝水回收所帶來的利點及可觀的經濟性。

鍋爐是將水在高壓情況下使其蒸發成為蒸汽的裝置。為了滿足鍋爐的工作需要，必須事前對水進行化學處理使其水質能夠適應鍋爐的生產條件製造出高品質的蒸汽。與此同時除鍋爐所需燃料的費用以外，水的化學處理也是蒸汽的生產成本之一。鍋爐的供水水質達不到要求時需要進行排汙工程（blow down），即將不能滿足使用條件的水排出。排汙次數越多所排出的高溫水所含有的熱量就越多被浪費。

鍋爐所生成的蒸氣本身就是經過化學處理的水並且經過蒸餾過程，蒸汽在熱量釋放後成為冷凝水，該冷凝水作為鍋爐的供水來使用是非常理想的。通過對冷凝水本身的再次利用可以達到以下效果。

- 降低鍋爐給水的成本
- 減少燃料使用量
- 提高鍋爐的蒸汽生成率
- 減少鍋爐排汗次數防止熱量浪費
- 降低水的化學處理成本

通過冷凝水本身回收所帶來的經濟效果因人而異，以下例為概算作為參考。

前提條件

鍋爐蒸汽製造量	: 10,000kg/h
運轉時間	: 24 小時/天 (8,760 小時/年)。
鍋爐給水溫度	: 15°C
回收冷凝水溫度	: 90°C (未_____全部回收的情況下)。
鍋爐供水單價	: 50 日元/m ³
鍋爐的運轉實效	: 85%
燃料費 (天然氣單價)	: 2,000 日元/GJ (千兆焦) (1.1 日元/kWh 千瓦) (1GJ=1,000,000kJ)

(燃料費用)

首先由燃料費開始計算，未回收的90 度的冷凝水1kg 所含有的熱量，即是正常供水情況下將15 度的給水溫度提升至90 度所需要的熱量。在此期間因升溫所需的加熱費用如下計算 ($\Delta T = 90^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C} = 75^{\circ}\text{C}$) 。

將水加熱升溫至所需溫度其所需熱量通過以下方程式進行計算，

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

單位內容如下

Q	: 熱量 (kJ)
m	: 物質的品質 (kg)
C _p	: 物質的比熱 (kJ/kg°C) (水的比熱為4.19kJ/kg°C)
ΔT	: 物質上升的溫度 (°C)

在此例中， m ， C_p ， ΔT 分別為 1kg ， $4.19\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$ ， 75°C ，將其帶入上記方程式結果如下，

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

這是在每小時每公斤的單位元品質下所需要的熱量結果，那麼在一年內所需要的熱量即是，

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

鍋爐的運轉實效為85%則所需全部熱量為，

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

燃料費（天然氣單價）為 $2,000$ 日元/GJ 那麼一年所需的費用即為，

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

（給水費用）

接下來是給水費用，水的價格通以其體積來衡量。常溫情況下水的密度約為 $1,000\text{kg}/\text{m}^3$ 。那麼在冷凝水沒有回收的情況下一年所需的供水量即為，

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

水的價格是 50 円/ m^3 的情況下，一年所需的成本即為。

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

將所需的燃料費及給水費用合計，

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

由此可見如果在冷凝水在被回收利用的情況下可以降低近 $7,000$ 萬日元的使用成本。同時因水的化學處理所使用的費用及排汙所造成的排水損失費用等合計起來回收的效果會更大。但是此處是以回收效率100%來計算，在實際中需要考慮到回收效率。

5.4 冷凝水回收範例

冷凝水的回收主要分為開放式回收與密閉式回收兩種方式。

開放式回收是將回收的冷凝水收集於開放式回收罐中，罐中壓力為大氣壓。因此冷凝水的溫度在100度以下。一部分的冷凝水通過再蒸發被排放於大氣中。另一種密閉式回收系統也稱之為有壓回收，可以將高溫冷凝水所含有的絕大部分熱量進行再利用。但是兩種回收方式的構築費用截然不同，密閉式回收較開放式回收構築費用增大很多。無論是選擇開放式回收還是密閉式回收都需要根據實際生產狀況及回收規模來綜合斷定。

常見的冷凝水回收系統的範例如以下各圖所示（為直觀表示圖中僅表示重要設備）

1) 利用給水罐進行回收的情況

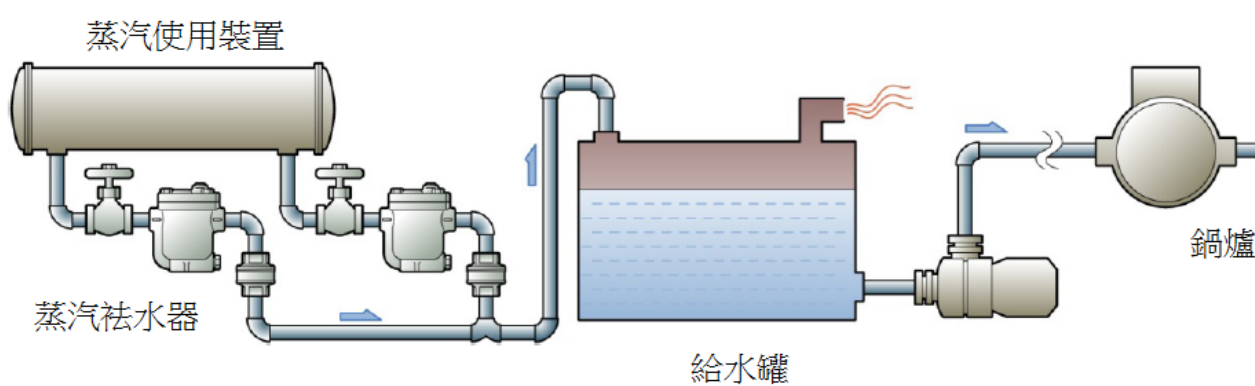


圖5.3 開放式冷凝水回收範例

通過蒸汽祛水器的工作壓差來將冷凝水回送至回收罐。

2) 利用閥泵回收冷凝水的情況

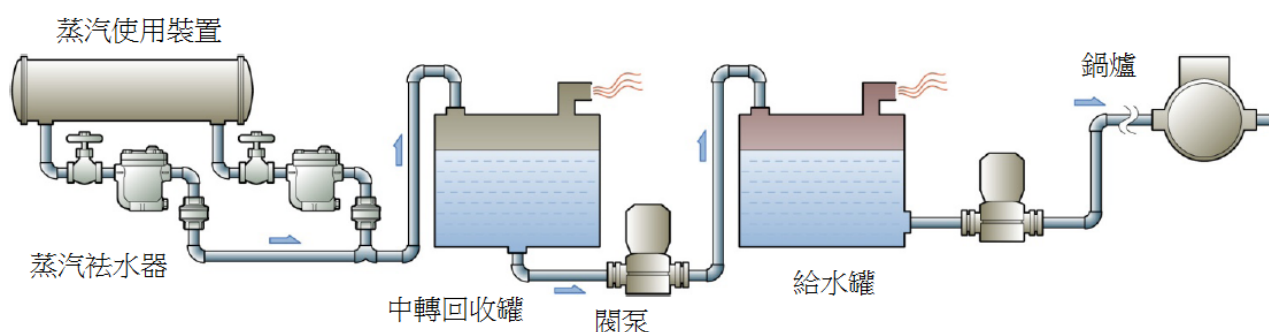


圖5.4 閥泵輸送式回收範例

在蒸汽祛水器的壓差無法將冷凝水壓送至回收罐時需要在回收途中利用中轉閥泵來進行接續，因此需要設置收集冷凝水所用的中轉回收罐。

3) 利用閥泵在蒸汽祛水器出口處進行冷凝水回收

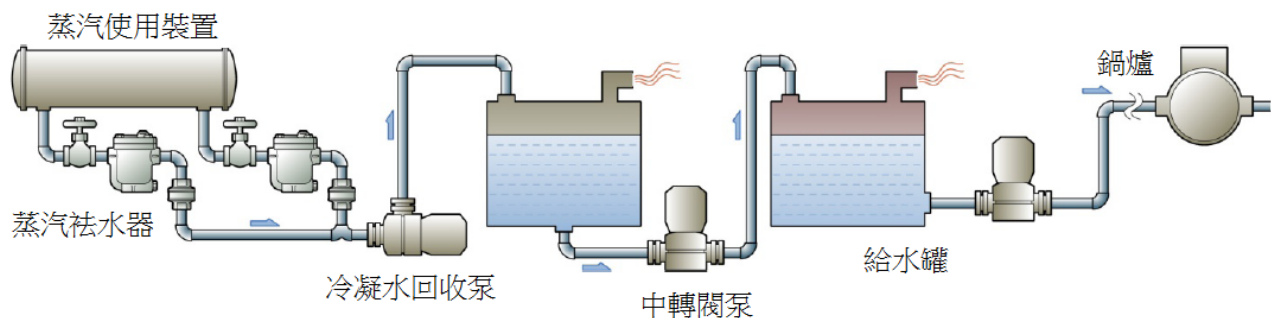


圖5.5 利用冷凝水回收泵進行的開放式回收

蒸汽祛水器的壓差過低的情況下，利用冷凝水回收泵設置與蒸汽祛水器出口處，為冷凝水壓送回收提供必要的驅動力。

4) 有壓回收系統

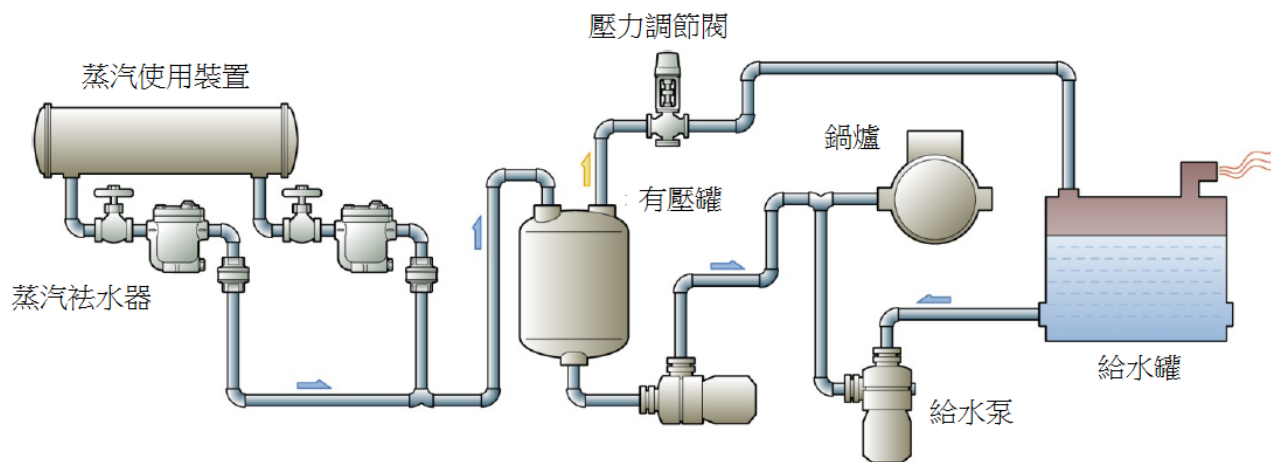


圖5.6 密閉式回收

回收的冷凝水通過冷凝水有壓罐經由回收泵直接將其壓送至鍋爐內。在冷凝水有壓罐壓力過高時，通過其上方的壓力調節，閥進行調解將過高壓力過渡至給水罐以來保護電力回收泵。

5) 閃蒸蒸汽的有效利用

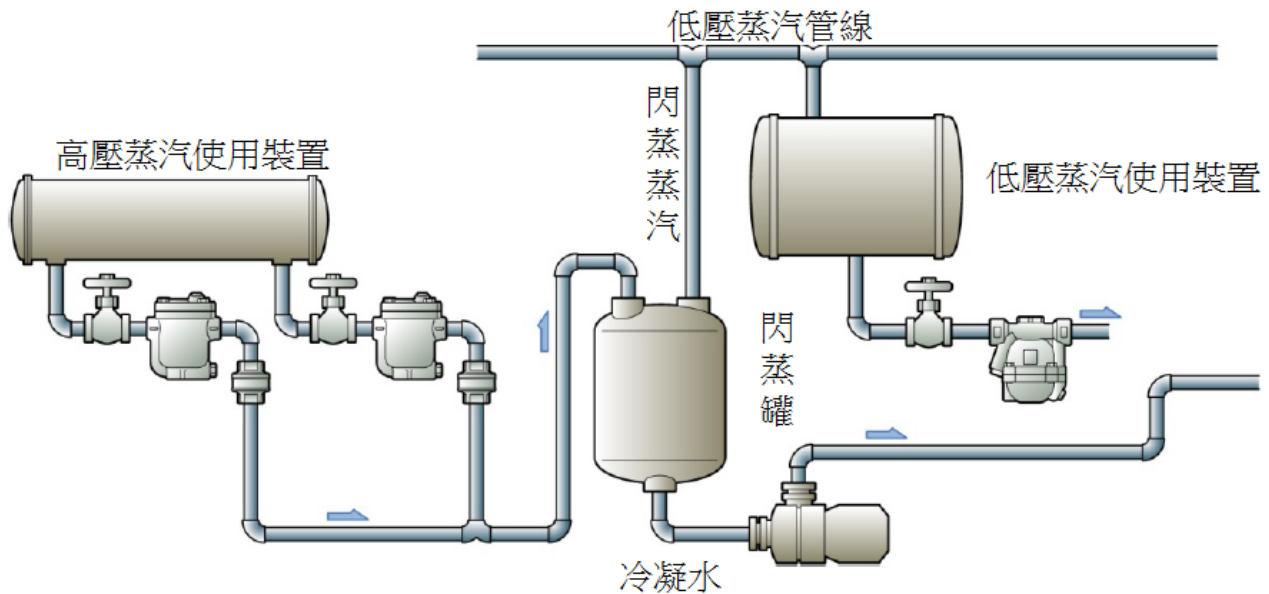


圖5.7 閃蒸蒸汽的利用及冷凝水的回收

回收的冷凝水通過閃蒸罐使其進行再蒸發並將該再蒸發蒸汽使用於低壓環境。閃蒸後的冷凝水則通過回收泵進行其他利用，例如直接回送鍋爐等。

6) 不純蒸汽的再利用

正如前述冷凝水是經過水處理並被蒸餾幾乎接近為純水。但是在蒸汽使用系統內蒸汽在被消費的過程中會有異物或化學雜質等物質參雜於其中，使接近為純水的冷凝水成為被污染的蒸汽。例如因化學反應器的破損而致使化學物質混入其中，或是在系統長時間停用後再啟動時管壁或裝置因腐蝕生銹的原因使異物混入其中。

類似於這樣的被污染的冷凝水不適於回收至鍋爐進行再利用，但是可以作為熱媒使用於換熱器等生產設備。

5.5 機械式冷凝水回收泵

冷凝水的回收多數通過蒸汽祛水器的進出口壓差進行自力回收工作。但是因冷凝水的回收管線過長或是因壓差過小而不能進行自力回收的情況下。如前所述冷凝水的回收通過冷凝水回收泵達到輸送目的。

冷凝水回收泵分為電動回收泵和機械式回收泵兩種，較機械式冷凝水回收泵相比電動回收泵具有能夠處理大量冷凝水回收的利點，但是機械式冷凝水回收泵可以在以下環境中發揮其重要作用。

- * 冷凝水的溫度過高使用電動回收泵會發生[空轉]現象的情況下。
- * 冷凝水的使用環境壓力在大氣壓以下的情況下。
- * 電動回收泵無法使用的防爆指定區域。
- * 無法確保電源的情況下。

機械式冷凝水回收泵通常以冷凝水出口處的壓力較入口處壓力高的環境為使用前提。即蒸汽工作壓力較低無法通過自力將冷凝水壓送回收管的情況下。

5.5.1 工作原理

以下將常用機械式冷凝水回收泵的工作原理說明如下。

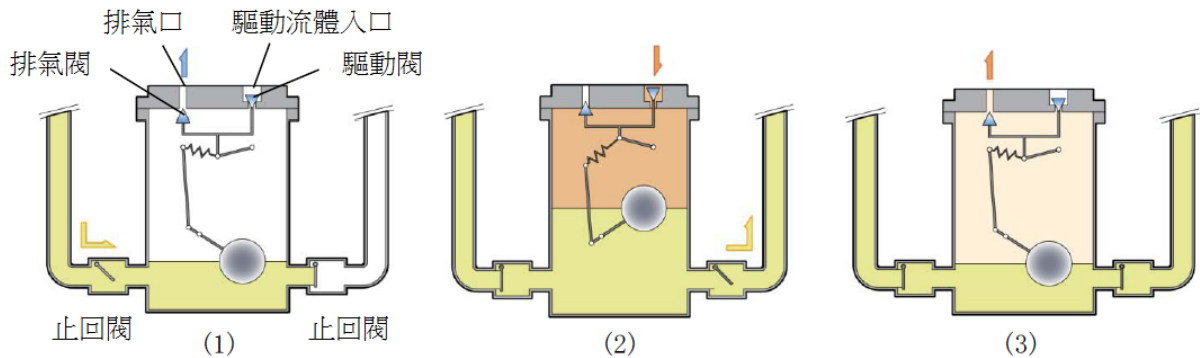


圖5.8 機械式冷凝水回收泵工作原理

機械式冷凝水回收泵本體內的浮球呈下垂狀態，此時排氣閥出於開放狀態，驅動閥處於關閉狀態。機械式冷凝水回收泵上方的冷凝水通過水頭壓力經由止回閥流入回收泵本體內，該過程稱之為「流入過程」（1）。伴隨著流入冷凝水的增加浮球逐漸上升到達一定位置時自行切換（複起機構/Snap Action）關閉排氣閥的同時開啟驅動閥。隨著驅動閥的開啟驅動流體流入回收泵本體內部，回收泵本體內的壓力逐漸升高，該過程稱之為「升壓過程」。當本體內的壓力高於出口側的壓力時，本體內部的冷凝水經由出口處的止回閥被壓送至回收管內。該過程稱之為「排出過程」（2）。本體內的冷凝水位逐漸下降浮球亦隨之下降恢復至下垂一定位置時複起機構再次作用將驅動閥關閉，開啟排氣閥驅動流體被排出的同時本體內部的壓力也隨之降低該過程稱之為「均壓過程」（3）。此時入口處的冷凝水再次經由止回閥流入回收泵本體內重複上述過程。

5.5.2 基本設備構成

圖5.9 為常用機械式冷凝水回收泵設備的基本構成。

換熱器等蒸汽使用機器所發生的冷凝水通過蒸汽祛水器排放至冷凝儲蓄罐。儲蓄罐位於機械式冷凝水回收泵的上方，在「流入過程」中通過水頭壓力將冷凝水壓送至回收泵內部。「升壓過程」中使用驅動流體將本體內的冷凝水壓送至回收管，該驅動流體除使用蒸汽以外還可以使用空氣，氮氣等其它非凝縮氣體。「均壓過程」中被排出的流體通過均壓管排往冷凝儲蓄罐這使回收泵本體內的壓力與儲蓄罐內部壓力相同達到減壓目的。附屬的止回閥，均壓管及冷凝儲蓄罐均為不可缺少的構成要素。

下圖為開放型機械式冷凝水回收的系統事例。

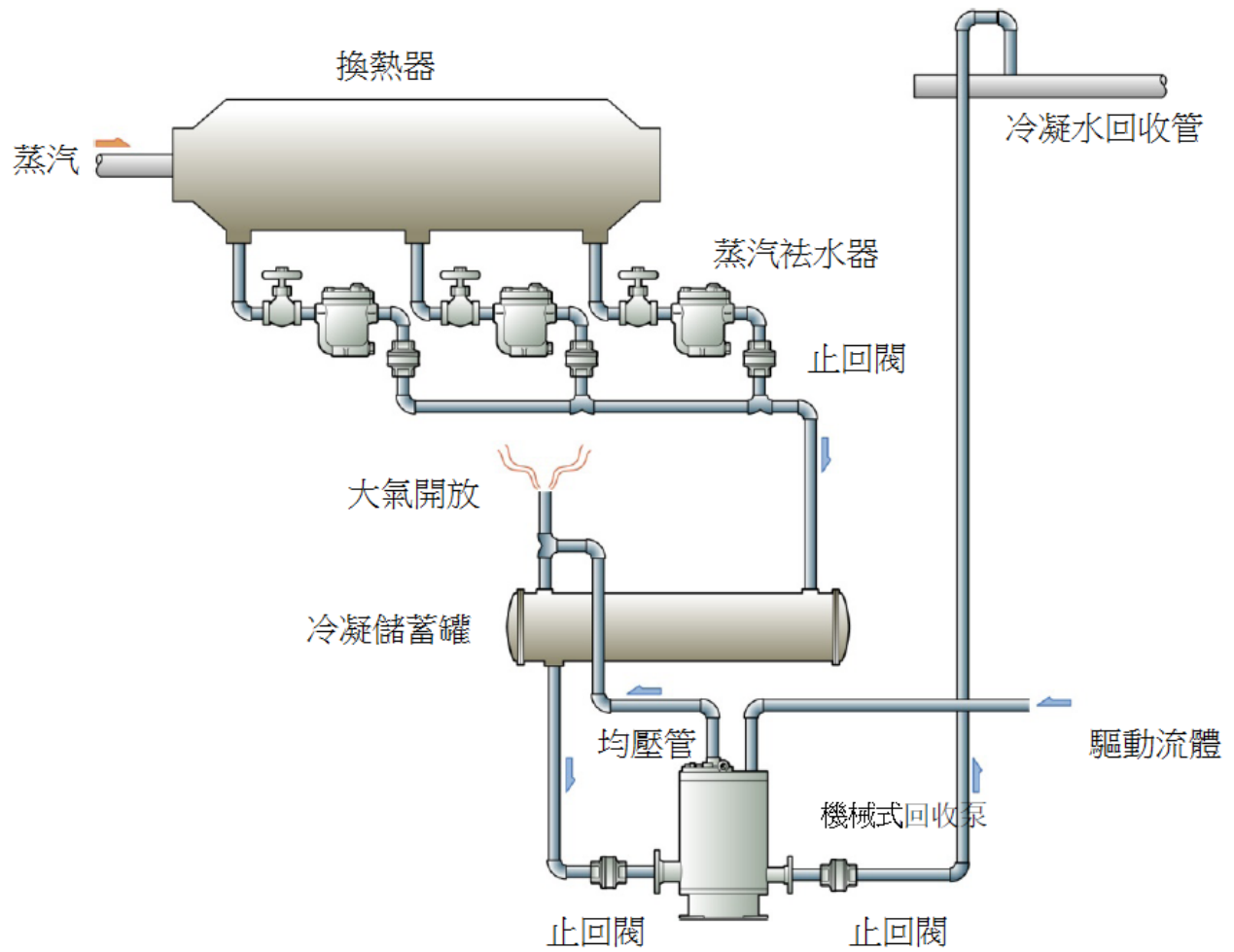


圖5.9 開放型機械式冷凝水回收