



工業冷卻系統白皮書

## 利用智能技術控制工業冷卻過程

詳細瞭解工業冷卻系統的主要方案，及看看  
**GRUNDFOS ISOLUTIONS** 可如何擴大生產效益

高達  
**30%**  
減少  
營運開支

高達  
**70%**  
節省能源



全面控制

**GRUNDFOS ISOLUTIONS** | A SMART SOLUTION FOR YOU

### 簡介：

冷卻和/或冷凍都以不同形式出現在工業生產或製造設備上。工業冷卻的目的是為工業用機械降溫，例如：電焊機及注模機，以及工業加工，包括：奶製品、化學品及醱酵製品等。

### 目的：

冷卻是眾多加工和工業的一部份，亦代表冷卻工業過程較零碎，以通用組合運作的方式未必適用。由於泵在工業冷卻系統中扮演著重要角色，本文件會說明 Grundfos 變頻泵在不同領域上使用對生產表現的影響和益處。

### 目錄

工業冷卻簡介.....	2
冷卻水塔.....	2
製冷.....	3
蒸發式冷卻水塔.....	4
蒸發式冷凝器.....	4
密閉冷卻水塔.....	4
開放冷卻水塔.....	4
工業冷凍.....	4
工業冷藏.....	5
冷卻緩衝系統.....	5
冷卻水配送.....	6

be  
think  
innovate

**GRUNDFOS**

## 目錄

工業冷卻簡介 .....	2
工業冷卻程序 .....	2
冷卻塔 .....	3
乾式冷卻器 .....	4
蒸發式冷卻塔 .....	5
蒸發式冷凝器 .....	5
封閉式冷卻塔 .....	5
開放式冷卻塔 .....	5
工業冰水機 .....	6
冷卻緩衝系統 .....	7
自然冷卻 .....	8
熱能交換器 .....	9
冷卻劑/乙二醇 .....	11
水質 .....	12
控制技術 .....	12
MEG/CUE 功用 .....	13

## 工業冷卻簡介

工業冷卻系統的目的是為機械或生產程序降溫，以保護生產操作的安全和效益。



冷卻和/或冷凍都以不同形式出現在工業製造或加工設施上。工業冷卻的目的是為工業用機械 (例如：電焊機及注模機) 以及工業加工程序 (包括：奶製品、化學品及醱酵製品等) 降溫。

冷卻是眾多加工程序和工業的一部份，亦代表冷卻工業加工過程較零碎，因此設置一套萬能組合的方式未必適用。由於泵在工業冷卻系統中扮演著重要角色，本文件會說明葛蘭富變速泵在不同領域上對生產表現的影響和效益。

## 工業冷卻程序

大部份安裝在工業冷卻系統的泵，是為了維持冷卻系統內水流循環的流暢。下圖展示了一般工業冷卻系統。

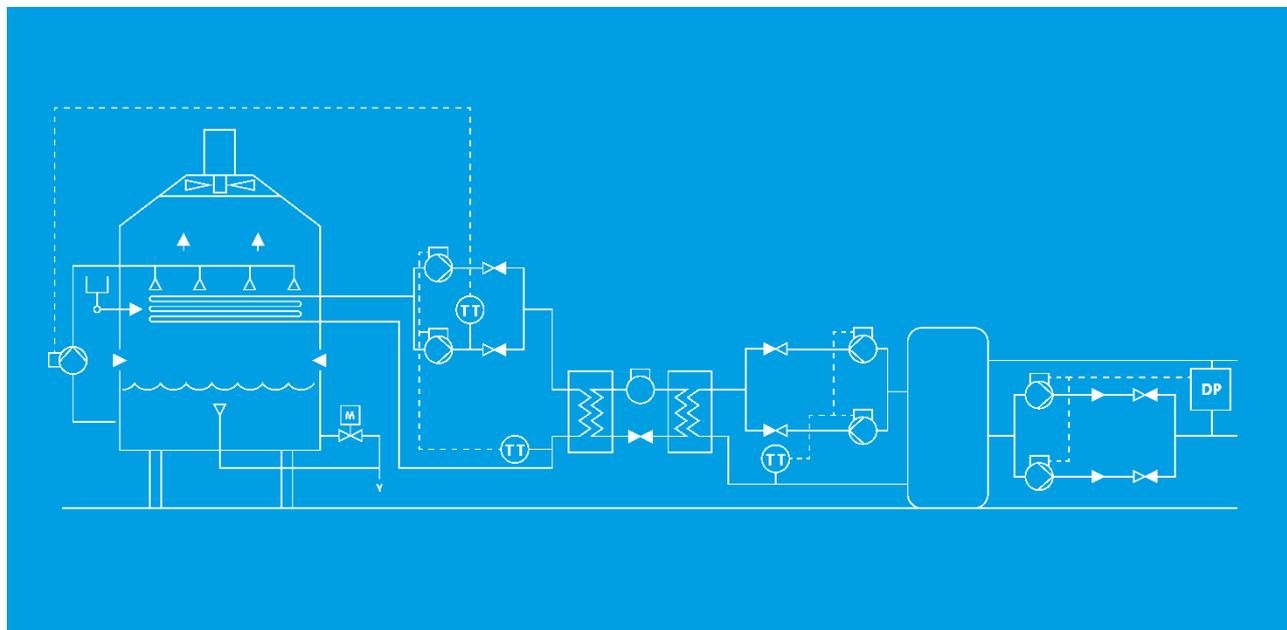
右方是主循環系統。主循環系統負責冷卻系統的冷水循環，水流帶走機器或程序中的熱能後，再將水送回到冷卻設備。

主循環泵是恆定運作的大型水泵，因此有效控制是非常重要的。而最有效的方法是利用差壓或比例差壓控制，讓水在需要時泵入系統之內。

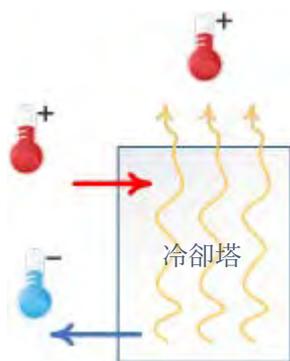
下一個裝置是冰水泵。冰水泵是維持緩衝槽與冰水機冷端之間的水流循環。從這個部份，您可以有效地利用緩衝槽，向冰水機發出啟動和停泵運作的訊號。這樣，當冰水機不在使用時，您便可節省保持水流循環的能源。

冷凝泵將熱能由冰水機轉移到冷卻塔。您可使用溫度訊號或由冷凍控制設備，在冷凝器低水溫時進行緩慢啟動。

最後一步是冷卻塔。從這個例子中，我們用了一個封閉式蒸發冷卻塔，以蒸發的方式為系統降溫。您可藉著冷卻器內水的溫度來控制塔內的水流循環，和在需要時啟動/停止塔內風扇。



## 冷卻塔



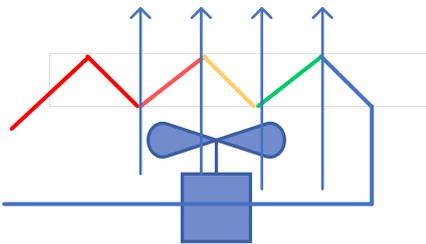
冷卻塔是一個散熱裝置，它利用環境空氣為水降溫，將系統的多餘熱能排走。冷卻塔可分為蒸發冷卻 (蒸發式冷卻塔) 或環境空氣冷卻 (乾式冷卻塔) 兩種。蒸發式冷卻塔是讓水蒸氣帶走熱能，並冷卻機器內液體至濕球溫度；而乾式冷卻塔則只靠環境空氣將機器內液體溫度降至乾球溫度。

一般冷卻塔的應用範圍包括在煉油廠、石油化工廠及其他化工廠、火力發電廠、工業冷卻、加工冷卻及建築物的暖通空調系統內冷卻循環水系統。它的分類以塔內的空氣引入方式，及水是否在塔內蒸發而定。

## 不同種類的冷卻塔：

- 乾式冷卻器
- 蒸發式冷卻塔
  - 封閉式
  - 開放式
  - 冷凝器

## 乾式冷卻器



乾式冷卻器可用作自然冷卻器或在冷凍系統中冷卻冷凝器。

乾式冷卻器有兩款常見設計：平板和 V 型，然而它們的功能相同。在平板設計中，由管道和散熱片組成的冷卻盆是安裝在底板上；在 V 型設計中，冷卻盆是安裝在 V 型邊板上。多數情況下，乾式冷卻器是由一個專用風扇控制器控制，水泵是在固定流速下運作。透過 MPC 可輕易地控制乾式冷卻器中的風扇，雖然這並非一個具成本效益的方法。



使用乾式冷卻器作為冷凝器，一般需要保持冷凝器內穩定的液體流速及最低溫度。若乾式冷卻器是用作自然冷卻器，泵裝置設計便可在不需使用風扇冷卻的低負荷情況下，取代溫度控制功能。

一些 V 型乾式冷卻器都設有加入水蒸發系統的單獨絕熱系統。絕熱系統是以小量流水運作，將水射向冷卻盆或已注入物料的底板，從而引起大範圍的蒸氣蒸發。葛蘭富的 MAGNA 和 UP 型號皆可在此使用 – 以 MAGNA 3 為例，它可在溫度較低、不需要使用絕熱系統的情況下啟動/停止控制。

### 蒸發式冷卻塔

蒸發式冷卻塔是工業冷卻中，其中一種最常用的設備。關於這個題目的內容非常廣闊，故未能在此逐一討論，但是，最重要的內容主要有三方面。冷卻塔內保持水流循環的泵，稱為噴泵或循環泵。這個泵的最佳控制是啟動/停止控制。

### 蒸發式冷凝器

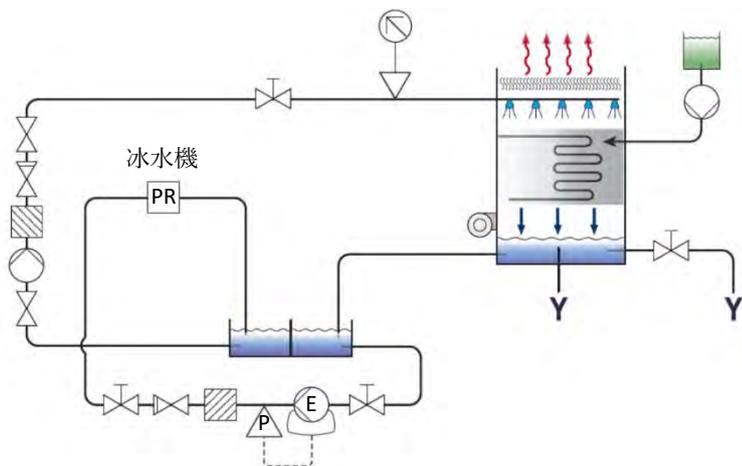
蒸發式冷凝器與封閉式冷卻塔非常相似。冷凝盆設於塔內位置，那裡有一個較小的泵 (TP/NB) 推動水流循環。冷卻塔內保持水流循環的泵，稱為噴泵或循環泵。泵應該只為噴嘴提供適當的壓力，以保持分佈正確。塔內的溫度控制由風扇負責。

### 封閉式冷卻塔

顧名思義，封閉式冷卻塔是以封閉的方式處理/冷卻水流。冷卻塔一般由一個小型泵 (TP/NB) 和一個大型泵 (NB/E、NK/E、TP/E) 組成，小型泵的作用是保持塔內水流循環，而大型泵則負責推動處理/冷卻水的循環流動。冷卻塔內保持水流循環的泵，稱為噴泵或循環泵。小型泵應以固定壓力運行，以保持塔內噴嘴的正確噴灑；至於大型泵系統，其控制模式需視乎系統而定 – 很多較大的系統牽涉多個部份，因此，較適合採用壓力控制系統。噴灑泵的最佳控制是啟動/停止控制

### 開放式冷卻塔

在開放式冷卻塔內，處理/冷卻水是在塔內分配和噴灑後，再回流到處理程序當中。泵的控制需視乎冷卻塔採用的系統而定。



## 工業冰水機

工業冰水機歸類為冷凍系統，負責冷卻處理水、大型暖通空調系統及其他工業設施。冰水機是使用蒸氣壓縮或吸收循環方式製冷。冷卻後的冰水可應用在不同領域，由設備冷卻到加工程序冷卻不等。工業冰水機是指製冷劑及設施建立在一個框架之內，例如：壓縮器、蒸發器、冷凝器、集液器。

### 工業冰水機種類

冰水機是以製冷能量 BTU 或冷卻容量 kW 來衡量的。冰水機主要分為空氣製冷、水製冷和蒸發式冷卻製冷三種。當中工業製冷主要採用四種技術：往復式、離心式、螺旋式和吸收式。首三種屬於機械式製冷，由電子馬達發動。吸收式製冷是由蒸氣等熱能發動，不經由活動組件推動。

### 工業冰水機的組件

機械壓縮週期主要由四個傳送冷媒的基本組件組成：蒸發器、壓縮器、冷凝器和膨脹閥。相比於冷凝器，冰水機的蒸發器在較低壓力和溫度情況下操作。

### 工業冰水機用的蒸發器

管殼式蒸發器：基本設置將冷媒從管道一方運送，處理液體則在板殼一方流動。相比於鈎焊板技術，這類蒸發器產生較低的壓力下降，可用於較大容量製冷。

鈎焊板蒸發器：這種技術的好處是高效益和低成本，可用於噸位細至低容量製冷。

半焊接熱能交換器也是高效率製冷技術，可用於大容量製冷。

## 工業冰水機用的壓縮器

往復式壓縮器：使用由曲軸驅動的活塞，這種壓縮器可在非常高壓力下傳送少量冷凝劑。往復式壓縮器通常是半封閉壓縮器，這表示可進行維修保養。

離心式壓縮器：活動部件比往復式壓縮器較少，比大小相等的往復式壓縮器較具能源效益，可製造較高的冷凝劑流速。離心式壓縮器較適合需要高容量及低壓力的應用，例如使用通風風扇、冷卻設備和空氣增流器的地方。離心式壓縮器由離心力推動空氣流量以產生壓縮力量。

螺旋式壓縮器：一對螺旋的構造 (男性與女性類型) 安裝在一個固定的外殼內。當旋翼轉動時，氣體會因兩個旋翼之間直接容量減少而被壓縮起來。這類壓縮器亦屬半封閉式壓縮器。在螺旋式壓縮器內加入變頻器，可提升其效益，至與其他壓縮器種類相約。

## 工業冰水機的位置

大型工業冰水機通常設於冷水流入工廠的機械室之中，或在需冷卻的生產程序附近。取決於冰水機和壓縮器的大小，有些工業冰水機是直接放在生產線旁。有些更會放置在室外位置。

## 冷卻緩衝系統

緩衝槽是一個儲藏槽，可用於冷卻系統的冷端。該系統可用於傳統冷凍/製冷系統的冷端，或是僅需要冷卻塔冷卻的情況下的自然冷卻系統。

緩衝槽一般用於處理浮動冷凍量的裝置內。當製冷需求高於冷卻系統的製冷量時，緩衝槽可用作儲藏槽的用途。

冷卻系統啟動時，冷卻壓縮器的能源消耗和損耗比起連續操作時都會上升。緩衝槽是非常適合製冷量低的時候，因為它可幫助減少啟動次數，從而可減低能源消耗和損耗。

在大型工業廠房中，多個泵可在不同層面上使用。緩衝槽亦可用來累積冷卻容量，緩衝槽亦可設定成不同尺寸。而泵可是單級泵，亦可是多級泵。泵的尺寸由大型 NB/NK 主泵到可用於最細冷卻循環線的小型 UPS 泵不等。

## 自然冷卻

冷卻工業越來越注重節能，「自然冷卻」亦越來越普遍。

自然冷卻是利用外在冷水或冷空氣協助冷卻水，隨後將其用於工業程序的經濟方式。冷水可立即使用或以短期或長期儲存起來。當外在水溫夠低，或室外溫度低過機器/處理程序冷卻的溫度，這個系統可利用外在水/空氣作為自然冷卻的來源。這個系統可以代替傳統冷凍系統的冰水機，同時達到相同的冷卻效果。此等系統可用於生產設施或區域冷卻。

### 空氣自然冷卻

當環境空氣下跌到設定的溫度，由 MEG 或 MPC 操作的調教閥門，可讓全部或部份冷水流過冰水機和自然冷卻系統。利用較低的環境空氣溫度冷卻系統的用水，可減少能源消耗。

要實現這一目的，可以繼續使用目前的乾式冷卻器，或安裝新的乾式冷卻器或冷卻塔。自然冷卻亦可用作支援目前的冰水機或直接與乾式冷卻器一同使用。在環境溫度較低時，系統可繞過目前的冰水機繼續製冷，令能源節省高達 75% 之餘亦能保持製冷效能。

### 水自然冷卻

當外在水源的溫度 (河水、湖水或海水) 降到系統設定範圍，便可將水加入冷卻系統，或繞過目前的冷卻系統操作。外在水源必須與設有熱能交換器的冷卻系統分開，以避免染污水源，或意外將固體物質或生物污染引入冷卻系統。水自然冷卻的好處是季節性的水溫一般較為穩定，但仍需要注意某些環境條例對外在水源使用的規管。

### 方法

冷卻塔的水可以直接經冷卻水循環路引入流量。若冷卻塔是開放式的，需安裝過濾網以減少塔內雜質累積。這種方法可因減少冷卻能源而節省成本，但增加了腐蝕風險。

熱能交換器亦可將熱能從冷水循環直接引入冷卻塔循環之內。交換器將冷卻塔的水與流經冷卻盆的冷卻液分開。因而預先冷卻了冰水機的水，減輕了冰水機負荷，從而減低了能源消耗。

### 空氣自然冷卻的季節性操作

*環境溫度高*

當回流水的溫度等於或低於環境溫度時，便不適合使用自然冷卻操作。系統的三方活門會繞過自然冷卻熱能交換器，液體直接流經冰水機，因此可將液體冷卻到設定溫度。

### 季節中期操作

在季節的中期，一部份用水會經壓縮器冷卻，另一部份則會經由環境冷卻。雖然局部自然冷卻會在環境空氣低於加工程序回流水水溫 1°C (1.5-2) 時啟動，但自然冷卻所佔的百分比仍然會因環境溫度改變而有所不同。水會局部經自然冷卻器冷卻，然後流入冰水機以達到預先設定的溫度。

### 冬季操作

冬季時，在足夠低的室外溫度下，水會完全由自然冷卻盆冷卻。冰水機壓縮器會停止運作，節省大量能源。風扇便成為冬季操作的唯一能源消耗。這種情況會在環境空氣溫度比回流水水溫低約 3-5°C 時發生。

### 限制

當環境空氣溫度降至 0°C 以下，便有可能出現結冰情況。另一個限制是熱能交換器內的溫度不一情況。熱能交換器內出現微小溫差，都會影響經濟效益。當自然冷卻溫度約為 2.5 °C 時，熱能交換器的操作就最具效益。若使用開/閉活門控制自然冷卻和冰水機操作的轉換，最好避免在短時間內轉換過於頻繁。冰水機的啟動/停止會導致過多能源消耗和高損耗。假若冰水機經多月未使用，我們建議執行翻轉程序一次。

## 熱能交換器

熱能交換器是兩種或以上液體之間的熱能輸送設備。換言之，熱能交換器是涉及冷卻和供熱兩個過程。液體由隔板分隔，避免冷卻水和加工水混合在一起。這技術廣泛應用在空間供熱、冷凍、空調、發電廠、化工廠、石油化工廠、石油提煉廠、天然氣加工及廢水處理。使用熱能交換器最普遍的例子是冷凍系統。蒸發器經常被用作為處理液體和冷凍之間的熱能交換器，負責將熱能由處理程序移到冷凍部份。

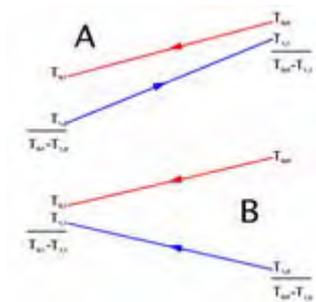
最常見於工業冷卻的熱能交換器是「板式熱能交換器」和「管殼式熱能交換器」。

管殼式熱能交換器由一系列管道組成，一套包含液體的管道需先冷卻，當液體流過管道時，熱能便會被吸收。管殼式熱能交換器一般用於壓力超過 30 bar 的高壓環境之下，因此，管殼式熱能交換器一般擁有堅實的外形。

另一種熱能交換器是板式熱能交換器。這種熱能交換器由多組稍微分開的板塊組成，板塊面積廣闊，並設有細微液體流動通道來輸送熱能。先進的墊片和硬焊技術，令板式熱能交換器更為實用。這類大型的熱能交換器亦稱為板框。當採用開放式循環時，這類熱能交換器通常是墊片類型，以便定期拆卸、清洗及檢查。市場上有很多不同種類的永久接合板式熱能交換器，例如：浸焊、真空焊接和焊板種類，它們通常用於冷凍等封閉式應用。板式熱能交換器亦有採用不同種類的板塊及板塊設置。一些板塊可能印有「V型」花紋、有凹窩或其他紋路；有些可能有機器加工的翅片及/或槽渠等。

相較於管殼式交換器，疊板式安排一般需要較少體積和較低成本，這是第一個分別。第二個分別是，板式交換器主要應用於低至中等壓力液體，而管殼式則主要應用在中至高壓力之上。第三個主要分別是，板式交換器會引起較多逆流，而非交叉流，可接受低溫差、高溫度改變和增加效率。

### 流動安排



### 對流 (A) 及並流 (B)

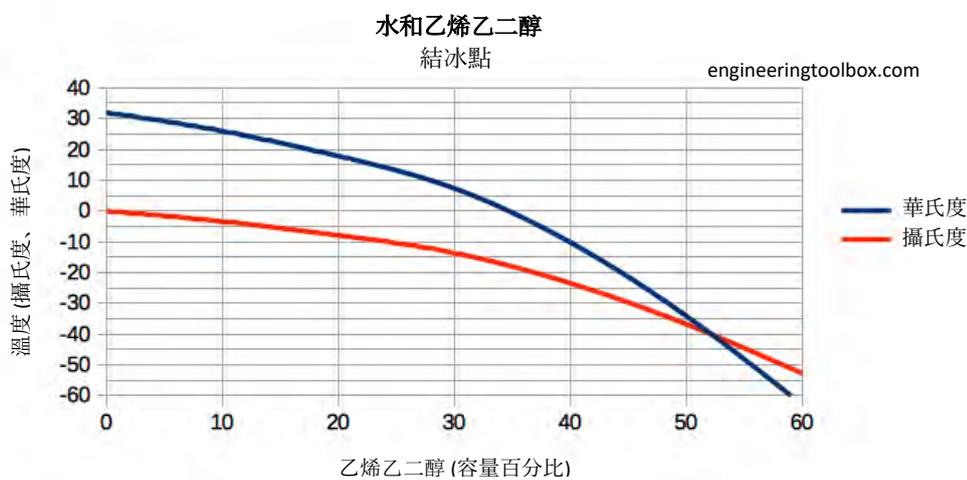
根據水流動安排，熱能交換器可大致分為三大類：在並流熱交換器內，兩種液體同時在同一入口進入，並排流動到另一端。而在對流熱能交換器內，液體分別由兩端進入交換器。當中對流設計最為有效，由於任一單位長度的水流的溫差較高，從每一單位量中轉移的熱力也相對較多。在交叉流動設計的熱能交換器中，液體大致以垂直流向進行。

## 冷卻劑/乙二醇

安裝在室外的液體系統，可能因溫度降至零度或以下，或因處理溫度需要降至零度 (或以下) 而結冰，這時便需使用抗結冰的冷卻劑乙二醇。

但要注意，蒸發式冷卻塔絕對不可使用乙二醇。處理/冷凝所釋出的熱力會防止冷卻塔結冰，所以建議在停止時使用加熱裝置。

使用的密度和濃度亦有所不同，取決於不同種類和含量的乙二醇。最常見的是乙烯和丙烯兩種。丙烯乙二醇一般用於食品及飲料。混入了氨氣的水較多用於泵水距離較長的情況，如：冰圈。混入氨氣的水具有腐蝕性。



## 水質

水質對冷卻表現來說是非常重要的。較差的水質可導致污染或堵塞，損害冷卻設備或影響效能表現。

以下列出了標準水質建議 – 供應商若有給予相關的建議必須遵守。

水質建議			
		數值	單位
外觀		清澈，沒有雜質	
顏色		無色	
氣味		沒有	
20°C 下的 pH 值		7.5 – 9.0	
導電性	LF	< 220	mS/m
土壤鹼性	Ca <sup>2+</sup> 、 Mg <sup>2+</sup>	< 0.5	Mol/m <sup>3</sup>
一般硬度	GH	< 20	°d
沒有穩定劑下的碳酸鹽硬度	KH	< 4	°d
氯化物	Cl	< 150	g/m <sup>3</sup>
硫	SO <sub>4</sub>	< 325	g/m <sup>3</sup>
活性生物成份	KBE	< 10,000	/ml

## 控制技術

要讓冷卻系統操作順暢、具成本效益和安全，

就必須安裝自動化操作和監控設備。自動化控制的複雜程度，亦主要視乎系統的大小及安裝位置而定。最重要的控制任務包括：

### 冷端

- 蒸發器壓力控制
- 壓縮器容量控制
- 流量控制

### 熱端

- 冷凝器壓力控制
- 乾式冷卻器或冷卻塔的循環
- 乾式冷卻器或冷卻塔的風扇速度

### 其他

- 系統內冷凍劑的正確分佈
- 冷凝器二級冷凍劑的控制 (水或空氣)
- 若二級冷凍劑是空氣，需注意蒸發器的除霜問題
- 監控設備 (壓力等)
- 電動馬達的保護

## MEG/CUE 功用

對於葛蘭富 iSOLUTIONS 來說，效益、連接性及功用性是最為重要的因素。

以下是各系列產品中最普遍的控制模式。

控制模式	TPE3 (D)	TPE2 (D) NBE/NKE	TPE (D) 2000 系 列	CRE、CRIE、 CRNE、SPKE、 MTRE、CME	CUE
自動適應	X				
流量適應	X				
比例壓力	X		X		X
恆定壓力		X		X	X
恆定溫度	X	X		X	X
恆定差壓	X	X	X	X	X
恆定溫差	X	X		X	
恆定流速		X		X	X
恆定水平		X		X	X
其他恆定值	X	X		X	X
恆定曲線	X	X	X	X	