

中央空調系統冰水變流量的溫差探討

壹、	一次側 / 二次側冰水系統
貳、	低 ΔT 的問題
參、	低 ΔT 的實例
肆、	結論
伍、	參考文獻

參、低 ΔT 的實例 [TOP](#)

圖 4 為基本的一次側/二次側管路全載的情況，在這個例子中，系統設計負載是 1,000 噸，流量和溫度是在標準的情況（如圖 4 所示），現場負載以二通閥控制。

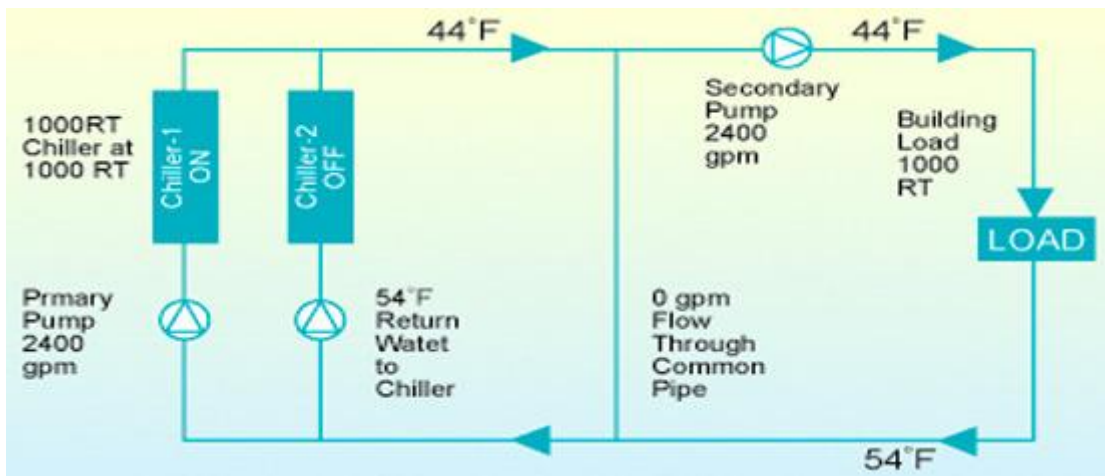


圖 4. 一次側/二次側管路全載的情況

在全載的時候，設計流量 2,400 gpm 通過冰水主機、一次側泵、二次側泵、現場負載，然後回到冰水主機，在共通管內沒有流量通過，雖然冰水會經過 2 台泵，但總揚程分別由 2 台泵分擔，一次側泵只負責冰水主機及一次側管路的揚程，二次側泵則負責送到現場負載及管路的揚程。

圖 5 為相同的例子，當以 50%負載運轉時，因負載降低，二通閥控制使二次側管路的冰水流量降為 1,200 gpm，負載兩端的溫差 ΔT 仍然維持 10°F。一次側泵

為定流量設計，仍然維持 2,400 gpm，二次側多餘的流量則經由共通管流回冰水主機，從共通管來的 44°F 冰水與 54°F 回水混合成 49°F 的水，冰水主機保持設計流量 2,400 gpm，回水溫度為 49°F、出水溫度為 44°F，冰水主機的負載為 50%。

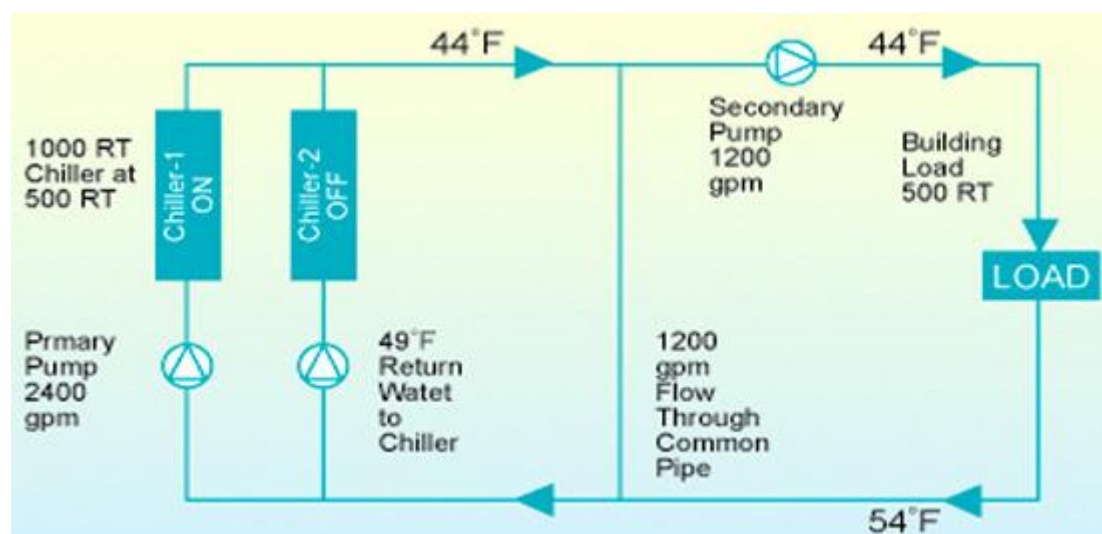


圖 5. 一次側/二次側管路 50%負載的情況

如果設計的溫差 ΔT 無法維持，會發生如圖 6 之情況，有 1,000 噸的負載，但是只有 6°F 溫差，為了要滿足 1,000 噸的負載需求，控制閥會打開而且有較多的流量通過負載，二次側泵則會增加二次側管路的流量至 4,000 gpm 以滿足負載所需，一次側泵仍供應 2,400 gpm 的冰水流量，所以會有 1,600 gpm 的流量經由共通管回流以滿足二次側管路 4,000 gpm 的需求。

如此一來會產生 2 個問題：第一，由二次側冰水管路供應的冰水溫度會提高，因為一次側的出水會和由共通管回來的回水混合，較高的冰水溫度會使控制閥打得更開，而使問題更為惡化；第二，回到冰水主機的溫度只有 50°F，所以冰水主機只有 600 噸的負載，但現場負載需求為 1,000 噸，因此一次側和二次側能量無法平衡，系統在此情況下運轉會有問題。

顯然我們應儘量避免上述的情況發生，在圖 6 的情況下，第二台冰水主機必需啟動，如圖 7 所示，以平衡一次側管路和二次側管路的流量。雖然啟動二台冰水主機是一個解決方案，但卻失去原來設計一次側/二次側冰水管路的目的，二次側的流量無法隨負載降低而減少，浪費二次側泵的運轉費用。而且當負載只需 1 台冰水主機的容量時，2 台冰水主機及主機泵都必須運轉，反而使得一次側冰水泵的運轉費用加倍，同時主機冷卻水泵、冷卻水塔也必須運轉。

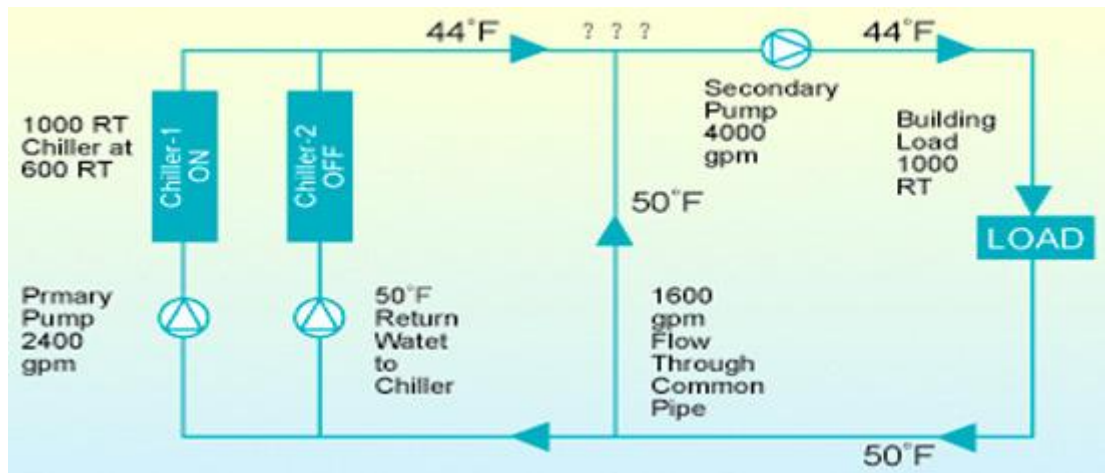


圖 6. 一次側/二次側管路「低 ΔT 」的情況

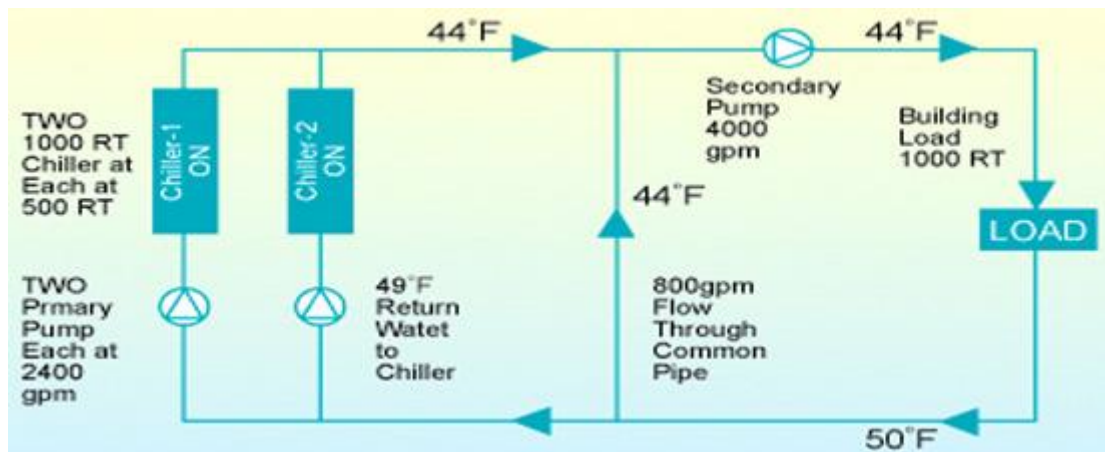


圖 7. 一次側/二次側管路「低 ΔT 」的真實情況

一、三通閥的使用

理論上三通閥的控制系統是維持固定的流量，因此 ΔT 會隨負載正比例的變化。但事實上，三通閥在部份負載時反而會使流量增加，因此在 ΔT 上有非常糟糕的影響。原因之一：通常連接盤管三通閥的旁路管之閥被省略或不平衡，因為這個閥是絕對必要的，除非盤管壓降非常低，否則當經過適當的平衡後，閥應被調節到相當於盤管壓降，以便三通閥分配流量時，無論是流經盤管或流經旁通路管，在水路系統中都有相同的壓降。但實際上，大部份三通閥系統在旁通管路上幾乎都沒有安裝閥，或者閥是全開的，這表示它從來沒有被平衡過，因此在部份負載時會有不良的影響，當流量從盤管旁通的時候，產生一個水力上的短路，也就是供水是直接進入回水管，於是相對於盤管旁通管路的壓降很小，使得水流量增加，且在設計值以上，而系統差壓降低，可能使其他的盤管水量

嚴重不足。

即使旁通閥適當的平衡，但仍需盤管的控制閥全開或全關的時候，才能維持流量在設計值，而當控制閥是在這二種極端之間的時候，流量還是會增加，因為管路壓降的變化大約是流量的平方，因此，當閥是在 50%混合位置的時候，流量最大，而不是保持固定（如圖 8 所示），這將會減少冰水的 ΔT 。

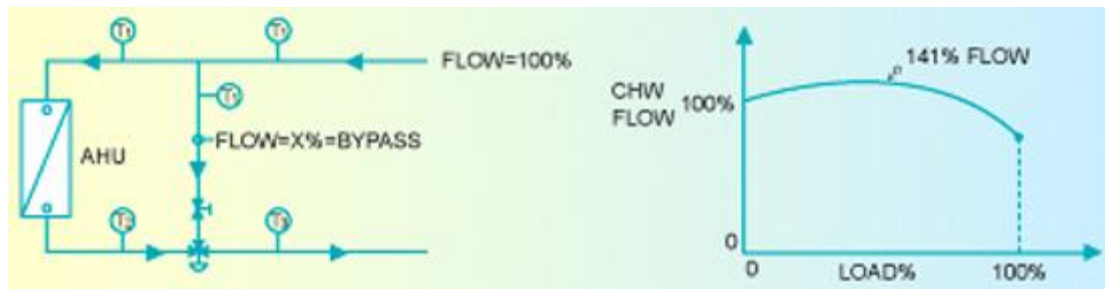


圖 8. 三通閥的特性

解決方案：

解決方案是不要使用三通閥。在變流量系統中使用三通閥主要的理由是可以省去共通管的使用，因為三通閥可像共通管的作用一樣旁路通過一次側要求的水量，也可使現場負載的盤管旁路通過不需要的水量，因此使用三通閥來代替共通管會浪費泵的能源且導致發生低 ΔT 的問題。在變流量系統中不使用三通閥，除了為確保泵不要到達死點（dead-headed），可以裝置一或二個三通閥。

二、不適當的設定點或感測器沒有校正

一般空調箱是以回風溫度控制二通閥，在回風管路中有一個溫度感測器，如果溫度太高，控制器將開啟控制閥；如果溫度太低則關閉控制閥。時常發生的問題是回風溫度的設定點低於原始的設計值，使冷卻盤管無法達到回風溫度設定的要求，在此情況下，控制系統會持續開啟冰水控制閥，以便使回風溫度降低，如此會使控制閥全開，冰水流量增加，但溫差減少。

不適當或是未經校正的感測器亦會引起相似的效果。控制器可能在刻度盤上設定適當的設定點，但是不適當的校正可能導致系統想要去達到比實際設定點還低的溫度。

解決方案：

解決方案是重新設定所有空調箱回風溫度回到原始設計的設定點。通常這些改變會造成現場人員的抱怨，但降低設定溫度無法真正解決問題，而且可能會產生一些新的問題，因此唯有將設定值調回原始設計點，真正問題的癥結才能被

發現並予以改善。如果控制系統是數位的，可在軟體中「鎖住」設定點的範圍，防止操作人員設定過低的設定點。此外，每半年或一年必須定期校正感測器和控制器。

三、系統設備不是相同的設計溫差

為使變流量系統能適當的操作，所有的設備必須設計相同的冰水溫差，包括冰水主機和盤管，例如空調箱的設計溫差為 14°F，而小型送風機(Fan coil)若選擇溫差為 10°F，則此系統很容易產生低 ΔT 的問題。

通常的錯誤是選擇盤管的 ΔT 比系統設計的 ΔT 低。在大型的中央空調系統中，常常是由不同的工程師負責不同區域的設計，因為各種理由，一些工程師不依計畫使用正確的 ΔT 選擇盤管，例如，系統是設計 14°F ΔT ，但是某些工程師只是基於「標準」的 10°F ΔT 選擇盤管。

解決方案：

系統設計的 ΔT 和冰水供水溫度需完整規劃，而且確定設計者選擇盤管的 ΔT 等於或高於設計值，選擇盤管最好能比設計的冰水供水溫度稍微高一些，此主要是考慮到經過一段時間之後，盤管污垢係數增加會導致熱交換效果不佳。

四、控制閥的選擇不適當

控制閥選擇不當會造成過量的冰水以滿足負載的需求。變流量系統二通閥的選擇有二個特別關鍵的重點：閥的規格 (Cv 值) 和致動器 (actuator) 的關斷能力。在使用現代化 PID(Proportional Integral Differential)控制迴路的直接數位控制系統和變速驅動來控制系統壓力，使許多設計者不再關心控制閥的選擇，但過大的控制閥會引起控制器「追逐」的現象，交替的打開和關閉閥，在設定點不足和過度之間上下跳動，使得整體的平均流量高於需求，因此 ΔT 減少。

解決方案：

解決方案是適當地選擇控制閥。控制閥的致動器在系統壓力下必須有足夠的動力將閥關閉，如果閥沒有適當的關斷能力，只有一個方法可解決問題，就是泵使用變頻器，以差壓控制系統。壓差感測器 應該儘可能置於系統管路的末端，並且設定點只要在設計條件下能夠滿足設計流量即可。

五、盤管骯髒或結垢

盤管無論是在水側或空氣側骯髒或結垢，都會減少冷卻盤管的能力，控制閥會

因此增加流量，以彌補冷卻盤管的性能，否則溫差無法維持。

解決方案：

解決方案是清理冷卻盤管。

六、冰水重新設定

提高冰水出水設定溫度，減少冰水主機壓縮機的功能。雖然這是一個很好的節能方式，但現在是用比原來設計、選擇的冷卻盤管進水溫度為高的冰水供應，因此當負載減少時，允許盤管用比較高溫的冰水即可滿足負載需求。但另一方面，比較高的進水溫度可能導致控制閥為達到設定點，讓冷卻盤管有流量過大的情形，所以冰水溫度重新設定可能產生低 ΔT 的問題。

解決方案：

仔細的評估和應用冰水溫度重新設定的策略。雖然提高冰水溫度可節省冰水主機的運轉費用，然而在一個變流量系統中，很有可能因此增加流量，而使冰水主機的節能效益降低或消失，所以若冰水主機的節能效益夠大時，則可使用冰水溫度重新設定。

七、控制閥沒有連鎖（interlock）控制

控制系統的設計通常會考量降低成本和盡量簡化，結果，時常造成即使空調箱已經關閉，但相關的閥卻仍然在控制系統的控制之下，造成控制器試著去達成無用的房間要求之送風溫度，導致控制閥全開，但冰水進出口值很小甚至沒有溫升；另外，或是當關閉空調箱時，控制閥並不會自動歸位關閉(Normal Close)，此亦會有相同的情形產生。

解決方案：

當空調箱關閉時，相關控制閥必須連鎖控制以關閉流量。在數位控制系統中，閥的連鎖控制可藉由軟體來完成。

八、未受控制的製程負載

在工業的空調系統中，冰水系統可能附帶供應製程冷卻負載，對設計者而言不清楚送這麼多冰水到製程設備，到底會發生什麼事情？製程冷卻負載如何變化？是否有任何調整或關斷的控制？若缺乏控制，當這些製程系統不是在滿載時，冰水的 ΔT 就會降低。

解決方案：

設計者應該和製程設備供應者充分溝通，設備本身是否有裝置控制系統？如果沒有，可否外加？或者安裝關斷閥。有些製程設備可能不需要一般標準空調系統那麼低的冰水溫度，如果設備只需要 10~15°C 的冰水，那麼可使用空調系統的回水，而不需直接由出水供應，這樣一來可增加系統的 ΔT 。

肆、結 論

..... [TOP](#)

許多人在評估或設計二次側冰水泵裝置變頻器時都會忽略一些實際運轉上的問題，大部份一次側/二次側冰水變流量系統冰水的溫差都無法維持固定，現場負載的回水低於設計值，溫差隨著負載改變，使得二次側的冰水流量並沒有太大的變化，而變頻器變成只是用來平衡二次側泵流量，讓低 ΔT 的問題導致操作者又再啟動 1 台主機及泵以符合現場負載，如此一來除了降低主機的負載之外，又浪費能源，讓原先預估的節能效益大打折扣，結果系統可能可以維持現場所需的負載，但卻是沒有效率的。

所以面對以上之情況時，建議儘可能維持高的 ΔT ，對於造成 ΔT 減少的原因應徹底瞭解並儘量避免，使問題降到最低，但是幾乎每個冰水系統還是無法完全避免發生 ΔT 低於設計的問題，在此情形下，該如何將系統設計得更有彈性，運轉得更有效率，可以不在乎 ΔT 減少的問題就非常重要了。

伍、參考文獻

..... [TOP](#)

1. Wayne Kirsner, "The Demise of the Primary-Secondary Pumping Paradigm for Chilled Water Plant Design ", Heating/Piping/Air Conditioning, November, 1996.
2. Donald P. Fiorino, "Twenty-five ways to raise your chilled water plant", ASHRAE Transactions, 1996.
3. Donald P. Fiorino, "How to Raise Chilled Water Temperature Differentials", ASHRAE Transactions, 2002.
4. Steven T Taylor, "Degrading chilled water plant delta-T : Causes and mitigation", ASHRAE Transactions, 2002.
5. "Energy Audit Report: Opportunities for Improved Energy Efficiency", CTCI Foundation & Supersymmetry Services Pte. Ltd., 1994.
6. "大型空調冰水系統規劃設計與節能省電效益分析",中華水電空調雜誌社出版,中華民國 90 年。