

雲端中心機櫃能源管理專利回顧

Patent Review for Energy Management of Data Center Rack

陳建宏¹、鄭宥澄¹、孫魁科²、洪國書³、江旭政³、王啟川¹

¹交通大學 機械工程系

²工業技術研究院 雲端中心

³工業技術研究院 綠能所

摘要:

本文係針對雲端中心內部機櫃的能源散熱管理進行專利回顧。由雲端機房機櫃的擺置，至機櫃內伺服器的散熱設計，從多方面探討不同型態的散熱設計、設備配置方法，以及預期達成的效果。

關鍵字:雲端中心、機櫃、伺服器

壹、前言

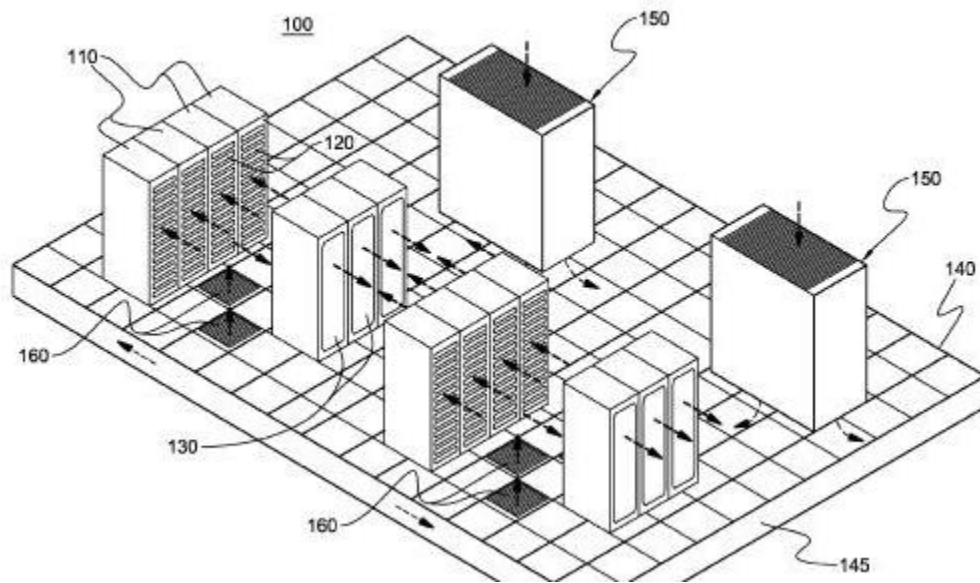
近幾年來，雲端運算(Cloud computing)開始被廣泛討論。然而，在雲端運算如此快速興起與突破性創新思維崛起之下，雲端中心也面臨了相當多的挑戰，其中能源管理即為一個重要戰場。在傳統雲端機房中，冷卻系統的耗電率幾乎占了整體總耗電的一半甚或更多。如果能有效地降低冷卻系統的耗電，提高冷卻效率的話，可想而知節省的電力將會相當可觀。所以近年來，機房機櫃內的散熱系統設計即成為雲端業者或是學術界致力發展的一大重點。其中更不乏一些相關專利的申請。有鑑於此，本文即以機房內機櫃散熱系統為主軸，搜尋整理相關的美國專利，分析近年來在此領域中發展的趨勢與未來可以著力的方向。

貳、專利回顧

機櫃能源管理在雲端運算中佔有舉足輕重的角色。有效的能源管理不僅可以提高冷卻系統整體效率，也可以使得電子設備維持在正常狀態下運轉，進而延長使用壽命。

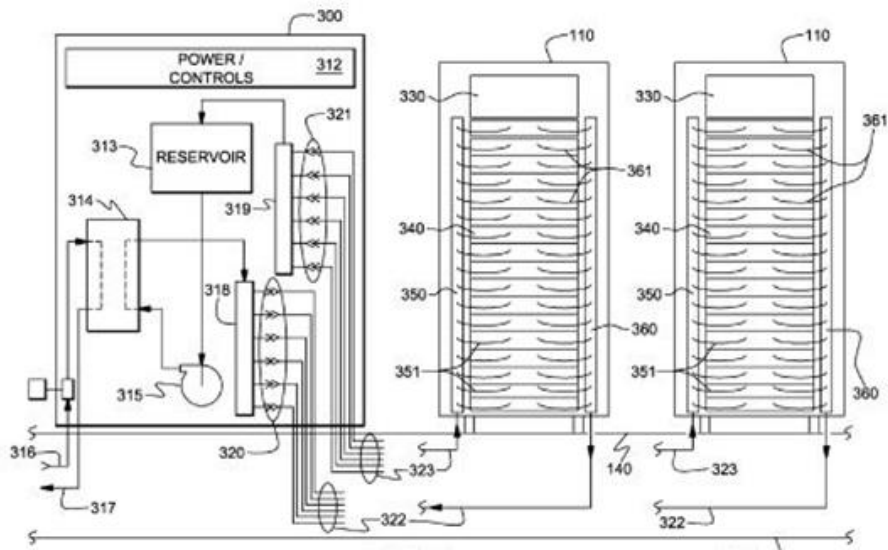
本文係以『雲端中心能源管理』為專利調查對象，主要檢索範圍為美國專利資料庫。以下將為大家介紹在不同設計觀點下的機櫃能源管理專利特色。

機櫃的冷卻有很多種，透過冷卻介質直接與機櫃內伺服器做接觸將熱量帶走為最基本的概念，冷卻介質可以為水、空氣、冷媒或是電解液介質；其中因為冷卻方式的不同，如 Air Cooling、Touching Cooling 或 Free Cooling，會有不同的冷卻效果，並搭配機櫃內的機構設計不同，以及機房內機櫃擺放方式的不同，會有不同的冷卻效益。美國專利 US 7,963,119 B2[1]指出一種普遍使用的機房內的機櫃擺放方式，如圖一所示，將機櫃放置在高架地板上，空調系統 ACU 將冷空氣通過高架地板下方並藉由地板上的進風口進入冷通道進而進入機櫃帶走熱量後再回到 ACU 上方之迴風口，進入 ACU 冷卻，此為將機房內的冷熱通道分離，進行氣冷式的熱交換，為機房機櫃擺置普遍使用的一種方式此種設計最容易設計，但機櫃的擺放方式有一定的限制。



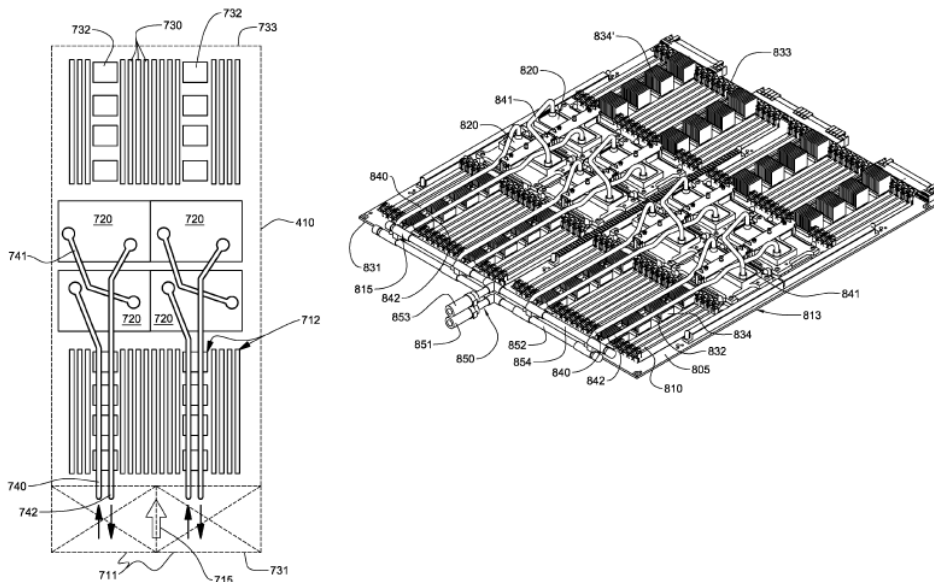
圖一.美國專利 US 7,963,119 B2

除了基本的機櫃擺放方式，該專利還提出以機櫃為基礎的冷卻系統，如圖二所示，將冷卻液直接送入機櫃中的各個伺服器，冷卻液可以是水或是冷媒，冷卻液透過冷卻管直接進入伺服器做液冷式的熱交換，將熱量帶走後進入製冷系統進行熱交換；由於伺服器的高度差會造成冷卻液無法平均流入各個伺服器，此專利還在冷卻管進出口處設計多個冷卻閥，以調整其冷卻液的流量大小；與氣冷式比起來，液冷式機櫃冷卻系統不必受到機櫃擺放位置的限制，成本較高，但冷卻效益較好。



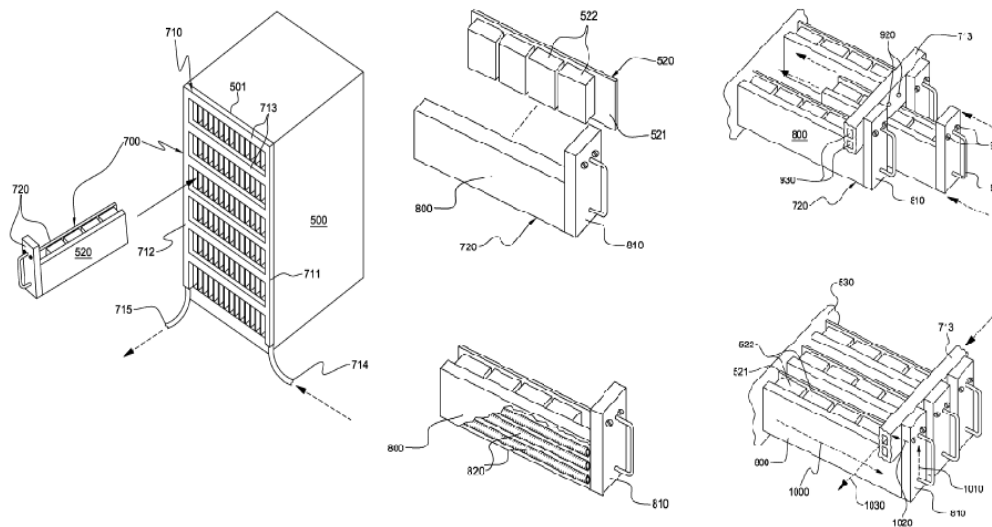
圖二.美國專利 US 7,963,119 B2

美國專利 US 7,757,506 B2[2]針對前述專利中之液冷式機櫃冷卻系統，提出了機櫃伺服器內的伺服器與冷卻液管路的設計，如圖三所示，冷卻管進入伺服器後，分出多個分支管，各個分支管直接與伺服器中發熱量最高的電子元件連結，以期望達到最好的冷卻效益。



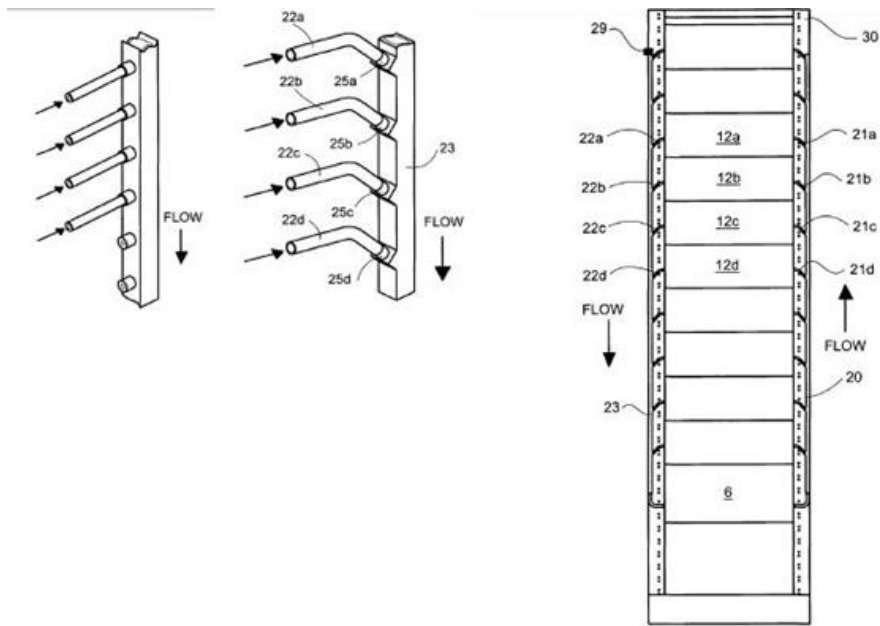
圖三.美國專利 US 7,757,506 B2

有別於一般伺服器液冷式冷卻系統的設計，美國專利 US 7,978,472 B2[3] 提出一種針對刀鋒型伺服器的液冷式冷卻系統，如圖四所示，該設計將冷卻管與電子元件分成兩模組化元件，冷卻管模組內為冷卻管，電子元件模組內為多個電子元件，將此二模組化元件組合變成一完整的刀鋒型伺服器，多個刀鋒型伺服器會與主要冷卻管結合，以便冷卻管模組內的冷卻液可匯集到該主要冷卻管，此設計主要針對刀鋒型伺服器之拆卸方便的特色設計，安裝伺服器與冷卻系統時較不複雜。



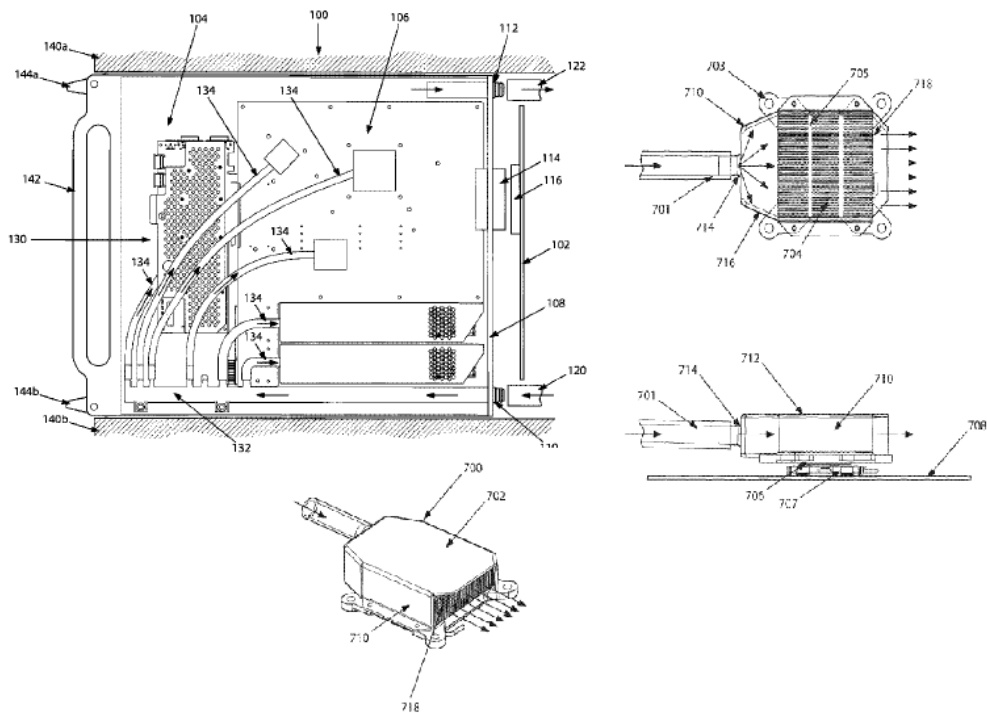
圖四.美國專利 US 7,978,472 B2

美國專利 US 6,958,911 B2[4]提出冷卻管對整體冷卻系統的影響，該專利認為，由於冷卻管中壓損的影響，不同形狀及角度的冷卻管也會有不同的冷卻效率，並提出一種應用在機櫃散熱的冷卻歧管設計，如圖五所示，一般冷卻歧管與主流管夾角為 90 度，透過改變冷卻歧管與主流管之夾角，可減少冷卻液在冷卻歧管中的壓降損失，可提高熱傳性能，進而提高冷卻效率。



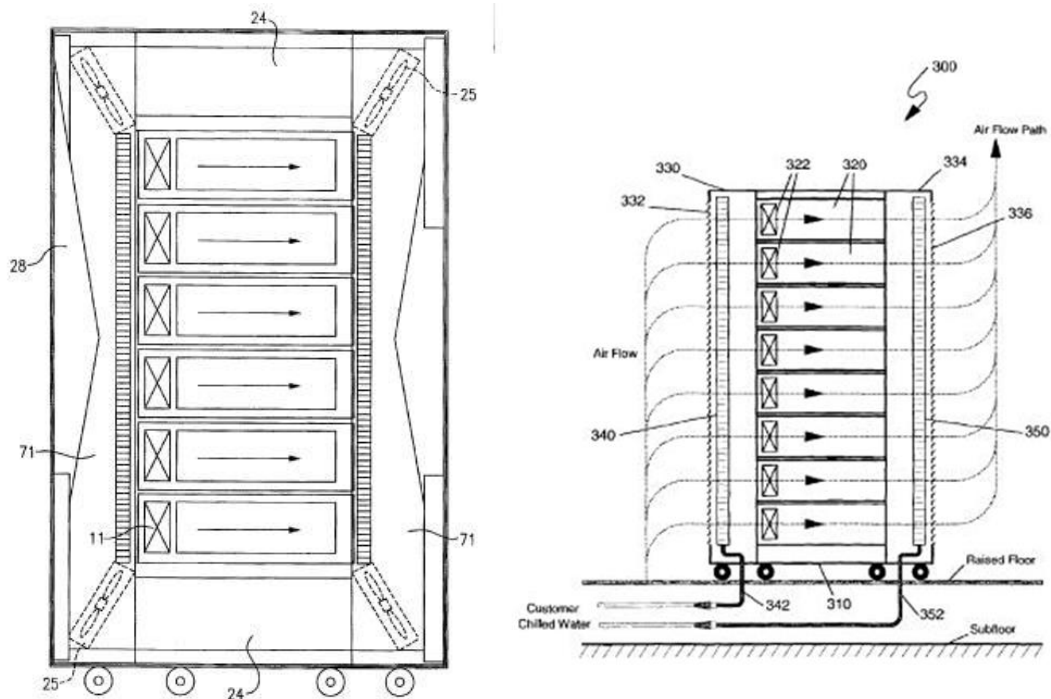
圖五.美國專利 US 6,958,911 B2

除了利用冷卻管將冷卻液送入機櫃伺服器之外，美國專利 US 7,905,106 B2[5]提出直接將伺服器浸泡在冷卻液當中的做法，如圖六所示，將伺服器完全封閉並浸泡在冷卻液中，並有冷卻管路連接至伺服器內部，以及在伺服器後方有唯一出口，冷卻管路直接與多個發熱量較大之電子元件連結，其連接處有冷卻液出口，可將冷卻液送入伺服器內，並與電子元件進行熱交換後由唯一出口排出去；此作法由於直接對發熱量高之電子元件進行冷卻，冷卻效益較好，但冷卻液必須使用特殊的電解液介質，成本較高，相對來講維修時也較麻煩。



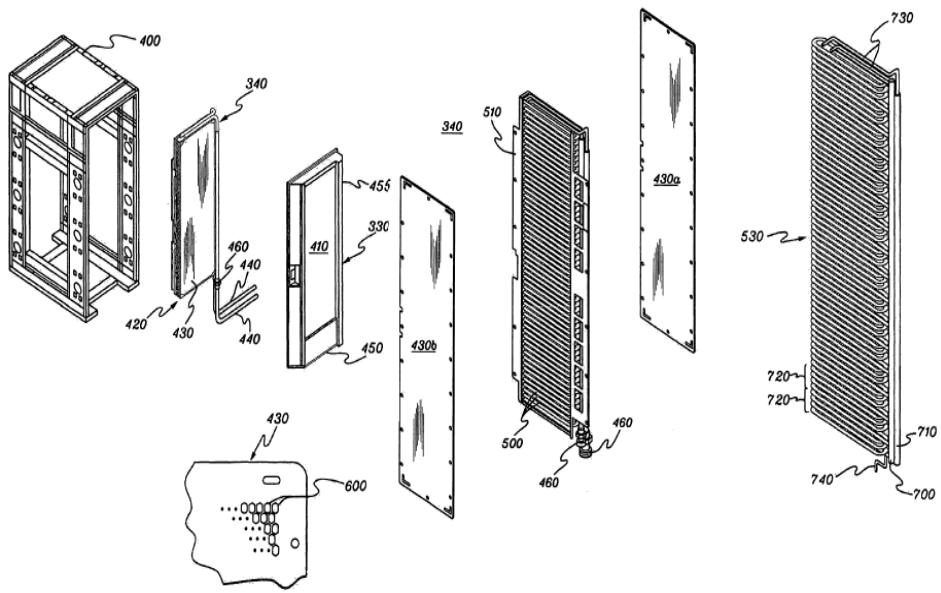
圖六.美國專利 US 7,905,106 B2

有別於單純液冷式的機櫃冷卻系統，美國專利 US 6,775,137 B2[6]提出一種氣液混和冷卻系統的機櫃設計，如圖七左所示，在機櫃的前後方皆裝上液冷式熱交換器，並藉由導入氣流通過熱交換器與伺服器進行冷卻循環，機櫃內會架設多個風扇，以加強機櫃內的氣流流動，提高冷卻的效率；美國專利 US 6,819,563 B1[7]也提出了類似的設計，如圖七右所示，將液冷式熱交換氣裝置在機櫃前後門，冷卻空氣進入伺服器前會先冷卻一次，帶走伺服器熱量後會再冷卻一次，此專利強調該種“預冷”冷卻系統可將空氣冷卻兩次，以達到更好的冷卻效益，不過相對來講該設計的建造與維護成本也較高。

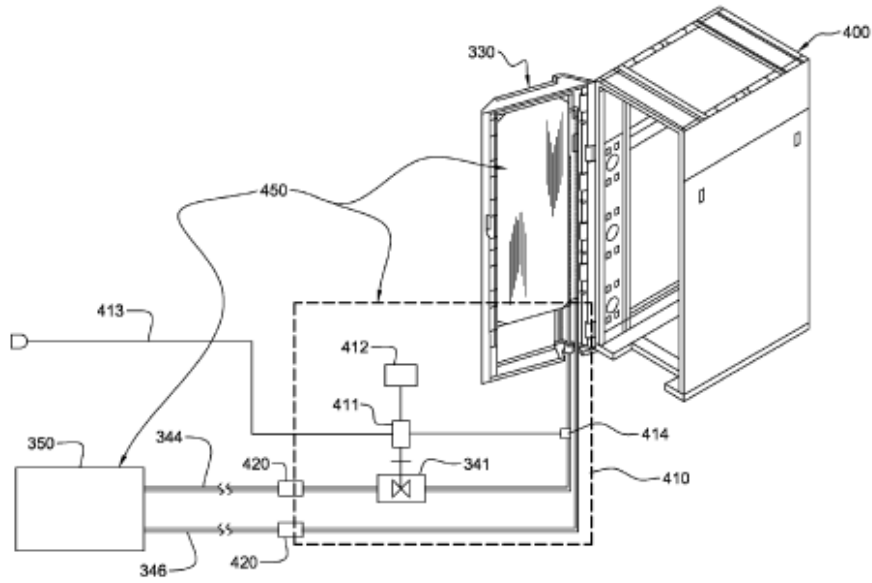


圖七.美國專利 US 6,775,137 B2 與 US 6,819,563 B1

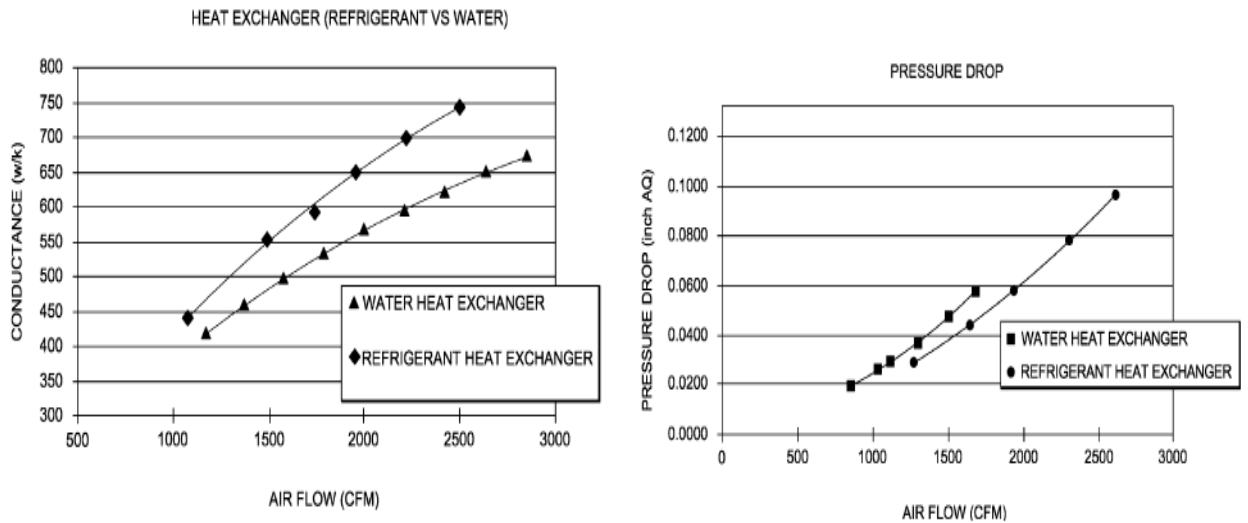
除了冷卻方式的設計，搭配冷卻系統各種機構設計也很重要，美國專利 US 7,385,810 B2[8]提出了搭配門式熱交換器的機櫃門板機構設計，如圖八所示，將熱液冷式熱交換器與兩具有多孔性之門板結合，在與機櫃門組裝，最後再與機櫃組裝，其多孔性門板一方面可保護熱交換器避免受到物理方向的碰撞，另一方面可讓氣流順利通過熱交換器，而熱交換器之主要冷卻管會安裝在機櫃門軸處，如此一來操作人員將門打開時，管路不會因為門的移動而受到壓擠，主要冷卻管會與冷卻系統連結，美國專利 US 7,963,118 B2[9]便提出了搭配該設計的冷卻系統，如圖九所示，而不同的冷卻液會有不同的冷卻系統，如冷卻液是水便可直接連結熱交換器，冷卻液若是冷媒，則必須連結製冷設備，該專利也提出冷卻液為水或是冷媒其中的差異，如圖十所示，可看出冷媒的冷卻效果較好，但製冷系統較複雜，成本也因此較高。



圖八.美國專利 US 7,385,810 B2

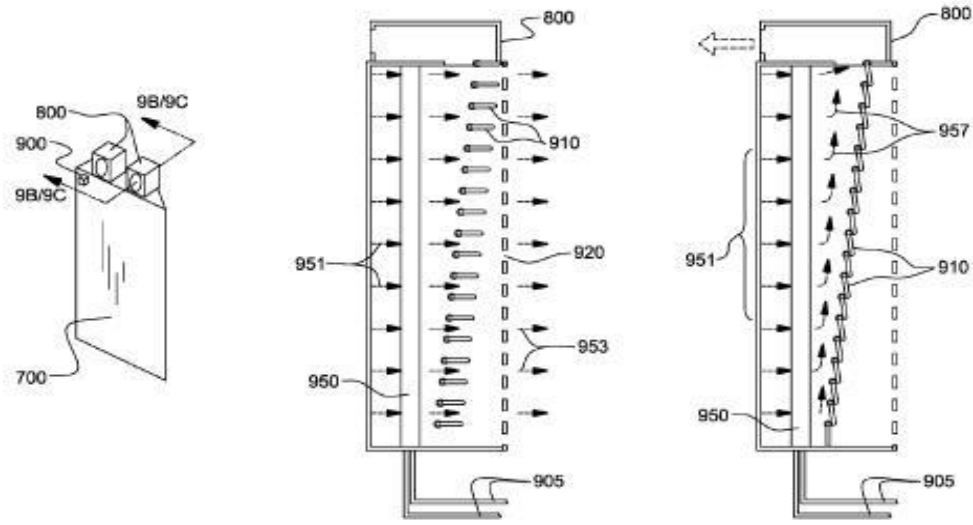


圖九.美國專利 US 7,963,118 B2

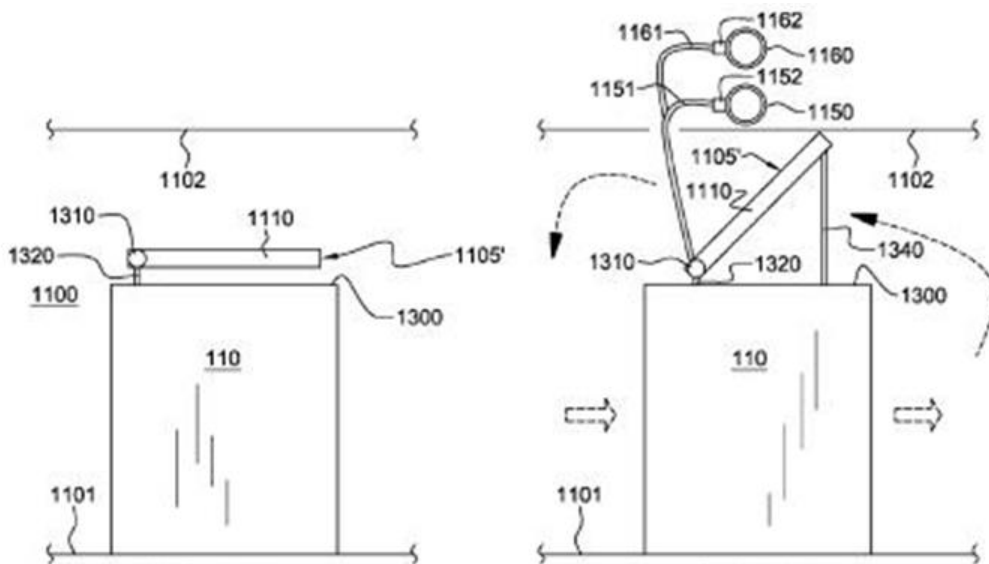


圖十.美國專利 US 7,963,118 B2

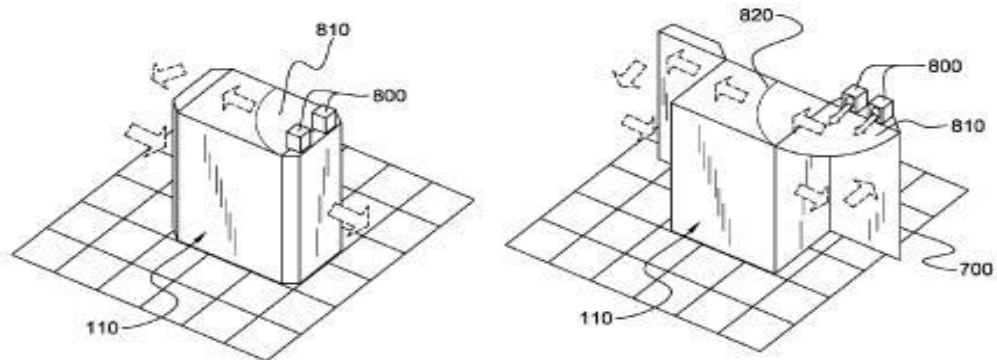
機房內的機櫃有時需要操作人員的檢修，或是機房內的熱交換器有可能會故障，美國專利 US 7,990,709 B2[10]針對此假設，設計出一較彈性的機櫃冷卻系統，如圖十一所示，在機櫃內熱交換器後方設計可改變氣流方向之導流板，一般正常使用將通過機櫃內熱交換器的氣流直接平行導出機櫃，當機櫃內熱交換器出現故障時，可將氣流導至機櫃上方，並藉由機櫃上方出口風扇吹入事先擺放好位於機櫃頂部的備用熱交換器，如圖十二所示，而機櫃頂部也有設置可讓氣流轉向的導流板，如圖十三所示，此設計是為了操作人員在將機櫃門打開檢修內部伺服器或是熱交換器時，依然可以透過前述方法利用備用熱交換器進行冷卻，此設計可提升機櫃在機放內擺置與運作調控的靈活性。



圖十一. 美國專利 US 7,990,709 B2

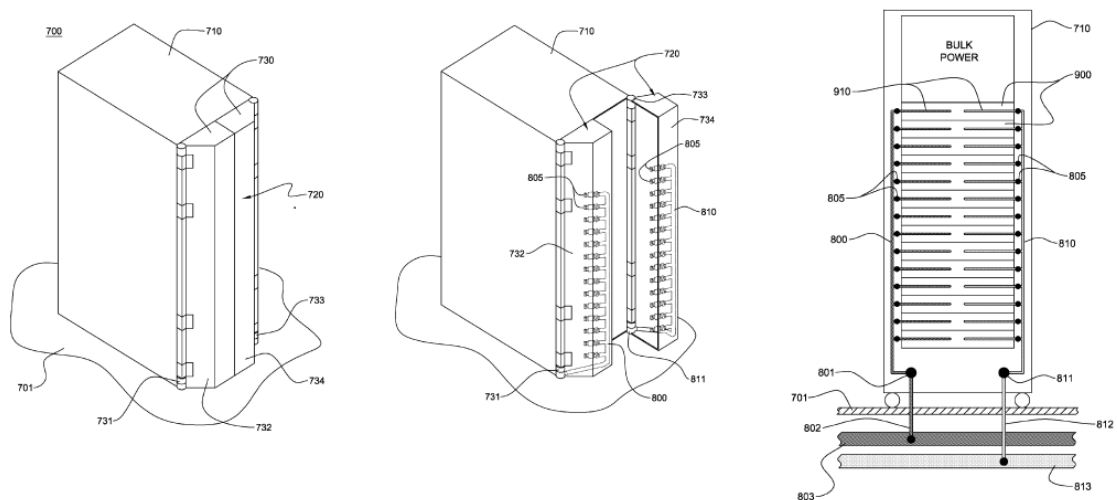


圖十二. 美國專利 US 7,990,709 B2



圖十三. 美國專利 US 7,990,709 B2

前述的專利設計之機櫃門皆為單開式的，美國專利 US 7,450,385 B1[11]提出一種別於以往的機櫃門，如圖十四所示，設計一種雙開式的門，將熱交換氣切成兩半，分別放在兩扇門，冷卻管路裝置在兩扇門的門軸，如此設計可在開門時減少開門所需要的面積，以提升機櫃在機房內的擺置靈活性。



圖十四. 美國專利 US 7,450,385 B1

參、結論

由於近年來雲端技術發展快速，相關專利申請的數量也在近幾年有了很大的成長。其中，機櫃能源管理這一部分一直扮演著重要的角色。其中大至上包括：

機房內部機櫃配置的改良，以冷熱通道分離減少冷氣與熱氣混合提高冷卻效率，或是將液冷式冷卻系統與氣冷式冷卻系統結合，以達到節能的目的；機櫃冷卻系統的改良，利用不同冷卻方式如直接對伺服器中發熱量較大的電子元件直接散熱，或是對整體機櫃的平均散熱；改善氣流或是冷卻液進入機櫃的效率或是對機櫃本身結構的改良；或是針對特殊情況下機櫃與管路的空間配置與改良，以及安裝或操作的便利性；如何增進這些技術加以改良以提升冷卻效率，漸少耗能，已成為目前的當務之急。

參考文獻

- [1] L. Campbell, R. C. Chu, M. J. Ellsworth Jr., M. K. Iyengar, R. E. Simons, "Hybrid Air And Liquid Coolant Conditioning Unit For Facilitating Cooling Of One Or More Electronics Racks Of A Data Center," US patent 7,963,119 B2.
- [2] M. J. Ellsworth Jr., F. R. Krug Jr., R. K. Mullady, R. R. Schmidt, E. J. Seminario, "System And Method For Facilitating Cooling Of A Liquid-Cooled Electronics Rack," US patent 7,757,506 B2.
- [3] L. A. Campbell, R. C. Chu, M. J. Ellsworth Jr., M. K. Iyengar, R. E. Simons, "Liquid-Cooled Cooling Apparatus, Electronics Rack And Methods Of Fabrication Thereof," US patent 7,978,472 B2.
- [4] T. Cader, R. J. Ressa, "Low Momentum Loss Fluid Manifold System," US patent 6,958,911 B2.
- [5] C. D. Attlesey, "Case And Rack System For Liquid Submersion Cooling Of Electronic Devices Connected In An Array," US patent 7,905,106 B2.
- [6] R. C. Chu, M. J. Ellsworth Jr., E. F., R. R. Schmidt, R. E. Simons, "Method And Apparatus For Combined Air And Liquid Cooling Of Stacked Electronics Components," US patent 6,775,137 B2.
- [7] R. C. Chu, M. J. Ellsworth Jr., R. R. Schmidt, R. E. Simons, "Method And



System For Cooling Electronics Racks Using Pre-Cooled Air," US patent 6,819,563 B1.

- [8] R. C. Chu, M. J. Ellsworth Jr., D. W. Porter, R. R. Schmidt, R. E. Simons, "Apparatus And Method For Facilitating Cooling Of An Electronics Rack Employing A Heat Exchange Assembly Mounted To An Outlet Door Cover Of The Electronics Rack," US patent 7,385,810 B2.
- [9] D. W. Porter, R. R. Schmidt, J. Takayoshi, T. Tsukamoto, T. Yamada, "Vapor-Compression Heat Exchange System With Evaporator Coil Mounted To Outlet Door Of An Electronics Rack," US patent 7,963,118 B2.
- [10] L. A. Campbell, R. C. Chu, M. J. Ellsworth Jr., M. K. Iyengar, R. E. Simons, "Apparatus And Method For Facilitating Cooling Of An Electronics Rack," US patent 7,990,709 B2.
- [11] L. A. Campbell, R. C. Chu, M. J. Ellsworth Jr., M. Iyengar, R. R. Schmidt, R. E. Simons, "Liquid-Based Cooling Apparatus For An Electronics Rack," US patent 7,450,385 B1.