

## 建構空調冷卻水系統具備節能及發電功能之研究

余光正<sup>1</sup>、楊家翔<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系  
E-mail: yukc@ncut.edu.tw

<sup>2</sup> 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系  
E-mail: yang.jia.siang@gmail.com

### 摘要

近年來台灣的工商業大樓，多數以高樓層建築型態發展，中央空調系統是大樓中不可或缺的主要設備，消耗的電量非常龐大。目前冷卻水塔大多放置於屋頂，所以有足夠之高度利用水位落差進行水力發電，因此，如何針對中央空調現有之冷卻水系統做更有效的利用，是本研究重要的議題。

本研究是利用冷卻水系統及水力發電之概念，建構一小型發電模組，模擬實際大樓之冷卻水運作，在管路中加裝小型水力發電機，進行水力發電測試。影響小型水力發電模組之發電效率，主要因素為冷卻水管徑大小、冷卻水泵流速、流量與發電機位置，藉由設置小型水力發電模組，探討不同管徑、不同位置的最佳配置方式，未來可儲存電量，作為緊急備用電源，供給至一般負載。

**關鍵字：**中央空調、冷卻水塔、水力發電

### 1. 前言

隨著台灣的工商業迅速發展，人民的生活水平不斷提高，對居住環境的舒適度要求也越來越高。冷凍空調技術的運用帶給人們更舒適的生活品質，但同時也造成社會及環境的負面影響日益加深，因此空調節能之設計概念，已經成為近幾年各個研究單位及業界廠商都積極探討的議題[1]。

台灣也積極的推動節約能源，因此近幾年綠色能源產業更為熱門，例如水力發電、風力發電，太陽能等都是未來綠色產業發展之方向。若以發電方式來看以水力發電最為環保，大型水力發電需要廣大的腹地，且容易受地形限制，台灣水資源蘊藏量豐富，但因地形不易儲存，導致發電困難，因此較容易被其他類型之發電方式取代，而小型水力發電卻有許多發展空間，可以應用在更多不同的地方。至民國 94 年，台灣已開發的水力發電(含抽蓄式發電)為 4,131MW，小型水力發電為 120MW，由此可見台灣比較適合小

型水力發電[1]。

### 2. 空調系統介紹及原理分析

#### 2.1 冰水主機之運作原理

在一般空調系統設計規畫之中，大部分是以最高外氣溫度以及最大室內負荷，來決定系統最大空調負載，藉此決定冰水主機額定容量。冰水主機為制冷設備的一種，主要由壓縮機、冷凝器、冷媒膨脹閥、蒸發器四種空調基本元件所組成，主要目的是製造冰水，進而供應商業空調所使用，基本的冰水主機系統循環，如圖 1 所示；冰水以 12°C 進入冰水主機蒸發器，經由冷媒熱交換作用冷卻至 7°C 離開，而冷卻水入水溫度以 30°C 進入冰水主機冷凝器，將蒸發器所轉移之廢熱移除，以較高溫度 35°C 離開冰水主機；冰水主機之功能，為利用蒸發器帶走室內負載之熱負荷，經由冷媒循環系統，將熱負荷傳遞至冷凝器，藉由冷卻水管移交至冷卻水塔散熱[2]。

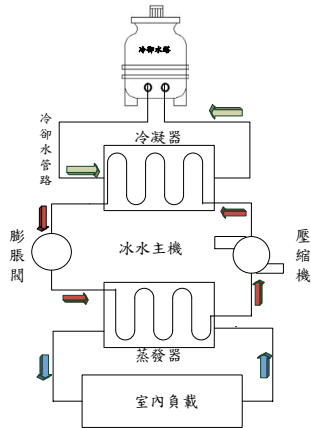


圖 1 冰水主機系統循環圖

## 2.2 冷卻水系統之運作原理

冷卻水系統最主要的功能亦是將冰水主機做散熱，是由冷卻水泵、冷卻水管道及冷卻水塔組成[3]，冷卻水系統循環，如圖2所示。冰水主機進行熱交換、使水溫冷卻的同時，必將釋放大量的熱量，該熱量被冷卻水給吸收，使冷卻水溫度升高。冷卻水泵將升了溫的冷卻水循環至冷卻水塔，使之在冷卻水塔中與大氣進行熱交換，然後再將降溫後之冷卻水，送回到冰水主機，如此不斷循環，帶走主機所釋放的熱量[4]。

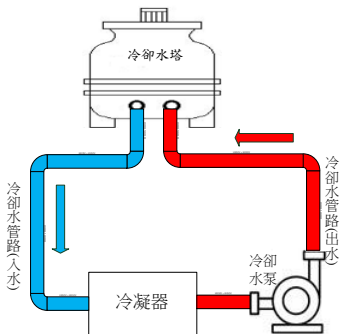


圖 2 冷卻水系統循環圖

在設計時，中央空調系統必須按天氣最熱、負荷最大時設計，並且留 10-20% 設計餘量，而冷卻水塔及冷卻水泵的大小又是依據冰水主機額定容量來決定，但實際上絕大部分時間空調是不會運行在滿負荷狀態下，所以節能的潛力就較大。其中，冰水主機可以根據負載變化隨之加載或減載，冷卻水泵卻不能隨負載變化作出相應調

節。冷卻水水系統的流量與壓差以前是靠閥門和旁通調節來完成，因此，不可避免存在較大截流損失和大流量、高壓力、低溫差的現象，不僅大量浪費能源，而且還造成中央空調最末端達不到合理效果的情況。為解決這些問題需使水泵隨著負載的變化調節水流量並關閉旁通，才能確保冷卻水系統正常運作。

水泵在實際上的應用時，並不是完全表現出名牌上所表示的水量及揚程，而是有一個規格性能曲線，在性能限制範圍內，如遇到外界阻力有變化時，其水泵的送水量、揚程與馬力，會自動調整到適合的狀態[5]。

## 3. 水力發電現況概說

### 3.1 水力發電

水是天然循環的豐富資源，而水對農業、工業生產及人民生活有密切的關係，人類的生活，不論直接或間接，都不能沒有水，如果能善加運用，對人類造福無窮。早在19世紀末，人類已經利用瀑布或河川的水力當作動力，開始用來發電，當時，以直流發電機供給電力於電燈。隨著水力發電技術的發展，電力能夠遠距離的輸送，並開始在山區建造大容量之水力發電廠，連結水輪機與發電機，將水力轉換成電能輸送至需用電的地區[6]。水力發電雖不能完全滿足各國所需之用電量，但水是可再利用生能源，對環境不會造成汙染，營運成本低、效率高和提供灌溉用水，且還可以發展旅遊業及水產養殖，因此各國對於水力的開發都極為重視[7]。

### 3.2 水力發電原理

水力發電是利用水位落差帶動水輪機，再配合水輪發電機產生電力，例如河川、湖泊等位於高處之條件，藉由水流高低落差的位能變化，將所含之位能轉換成水輪機之動能，再藉由水輪機的機械能，推動發電機產生電能。水力發電廠所發出的電力要輸送到遠距離的用戶，必須將電壓經過變壓器提高後，再由架空輸電路輸送到用戶

集中區的變電所，再次降低為適合於家庭用戶、工廠之用電設備之電壓，並由配電線輸電到各工廠及家庭用戶[8][9]。水力發電是利用原有的流動水源做為發電之條件，所以可以供給廉價又無污染的電力。

水力開發的必要兩個條件是「落差」與「流量」。水從高地流到低地之垂直距離就是落差，又稱為「水頭」。河流中每一秒鐘水流體積之移動量就是流量，又稱為「水量」。

各種不同型式之水輪發電機，其輸出功率均可由下式計算如(3-1)所示[10]:

$$P_t = \gamma \times g \times Q \times H \times \eta_t \quad (3-1)$$

其中:

$P_t$ : 水輪機輸出(KW),  $\gamma$ : 水之比重( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  
 $g$ :  $9.8(\text{m}/\text{s}^2)$ ,  $Q$ : 水流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $H$ : 水位落差(m),  
 $\eta_t$ : 水輪機效率(%)。

因此上式可簡化為:

$$P_t = 9.8 \times Q \times H \times \eta_t \quad (3-2)$$

由(3-2)式可以看出，當水位落差及水流量越大，所能發出的功率就越大，因此本研究以盡量不影響冷卻水系統流量的前提，為第一優先考量。

### 3.3 水輪機構造

水輪機是將水之位能有效地轉變為機械能的一種機械，用來帶動發電機，使之再轉變為電能就可供給至工廠及住家等地方做使用[11]。由於各水資源運用之地點高度落差及流量多寡各有不同，所以水輪機之設計條件也不盡相同，又常受限於實際情況及地理環境條件的影響，故設置的地點尋覓不易。本研究使用的微動型小型水力發電機是屬於法蘭西水輪機(反作用式水輪機)的一種應用[12]。

法蘭西水輪機是將有壓力的水流在封閉而飽和的渦輪室中作用在整個水輪上，用在中水

頭，大流量的地方，為現代最常用的水輪機，因所能利用之落差和水量範圍廣闊，與大部分可以開發的水力資源相吻合。適用於如30~500公尺的中低落差範圍使用，如圖3所示[11][12]。

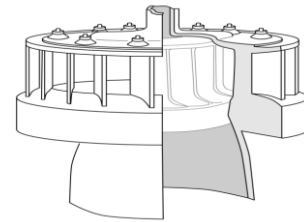


圖 3 法蘭西斯式水輪機

### 3.4 微動型水力發電機

水由入水口A流入，衝擊葉片轉動，葉片與葉片軸為一體，且結合磁環A，所以葉片轉動，其磁環A也跟著轉動。磁環A與磁環B有著相同磁極，且位置為N與S相吸，雖有殼體隔離也可連動。磁環B帶動馬達軸轉動，進而帶動馬達發電，來驅動所需設備用電，如圖4所示[13]。

此技術為一法蘭西水輪機之應用，其特點有：

1. 利用磁鐵與磁鐵間的磁吸作用，帶動發電裝置，可達無軸傳動以達到減少傳動損失。
2. 利用膜片，墊片及彈簧有效達到自動調節水流之作用，可在很小水流也可發電，也不會因水壓大小的變動而影響水流量發電。
3. 發電機組可自行更換，不同場所裝置適當發電量之發電機組。

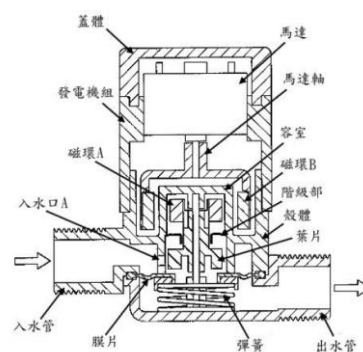


圖 4 微動型水力發電機

#### 4. 實驗測試結果與分析

本研究是建構一小型水力發電模組，模擬大樓之冷卻水系統，利用沉水馬達模擬實際冷卻水系統之水流動，並在水管中加裝微動型水力發電機，測試發電機位置、發電量以及流量之關係。

##### 4.1 系統架構

實驗系統架構之兩側高為110公分、底部寬為110公分，分別採用四分與六分兩種不同管徑，將發電機No.1及No.3分別設置在系統上段、中段及下段，來探討發電機在不同位置，對流量和發電量之影響，小型水力發電系統架構，如圖5所示，再利用超音波流量器及多功能無紙式記錄器，將系統的水流量及發電量數據做收集、彙整及分析。

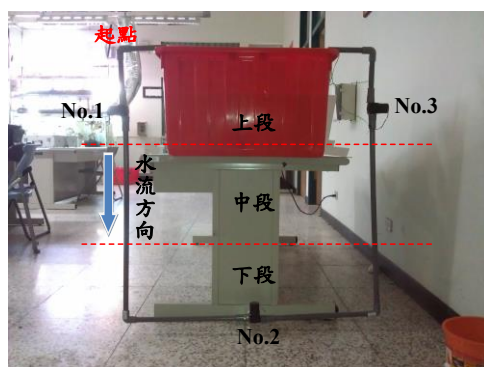


圖 5 小型水力發電系統架構圖

發電機相對起點位置參數，如表 4-1 所示：

(1) Case 1(上段):

將 No.1 發電機放置於起點出來 23cm 處，No.2 發電機放置於水平中點位置距離起點 168cm 處，No.3 發電機放置於起點出來 313cm 處。

(2) Case 2(中段):

將 3 個發電機放置於各中點，No.1 發電機放置於起點出來 54cm 處，No.2 發電機放置於水平中點位置距離起點 168cm 處，No.3 發電機放置於起點出來 277cm 處。

(3) Case 3(下段):

左右兩側發電機皆設置在下段，將 No.1 發電機放至於起點出來 86cm 處，No.2 發電機位於水平位置中點距離起點 168cm，No.3 發電機放至於起點出來 250cm 處。

表 4-1 發電機相對起點位置參數

	相對起點距離		
	No.1	No.2	No.3
Case 1	23cm	168cm	313cm
Case 2	54cm	168cm	277cm
Case 3	86cm	168cm	250cm

##### 4.2 小型水力發電系統之四分管徑測試

本實驗採用四分管徑(16mm)的PVC管，利用沉水馬達模擬實際冷卻水系統之水流動，來探討在三種不同Case下，發電機位置對流量及總電壓的影響，來模擬整體冷卻水系統之小型水力發電模型。

如表4-2所示，可以發現Case 2參數中，發電機配置的輸出總電壓為最高，但系統流量卻是參數配置裡最小，以實際冷卻水系統而言，系統流量變小，將影響冰水主機的散熱，導致系統溫度異常，若需改善勢必將冷卻水泵容量加大，造成成本上的增加。如果以不影響系統流量為最優先考量，以Case 1將發電機放置於上段出水口及回水口為佳，雖然總輸出電壓沒有Case2高，但流量所受的影響為最小，若用於實際冷卻水系統內，對冰水主機的影響也小，因此可以將發電機設置在冷卻水出口及回水口，所以可以判斷在四分管徑中Case 1為最佳發電機位置組合，其各類發電機輸出平均電壓，如圖6所示。

表4-2 四分管徑發電數據

	No.1	No.2	No.3	總電壓	流量
Case 1	9.16V	8.50V	9.08V	26.74V	4.74 l/min
Case 2	9.04V	8.42V	9.36V	26.82V	3.30 l/min
Case 3	8.34V	8.92V	8.77V	26.02V	3.61 l/min

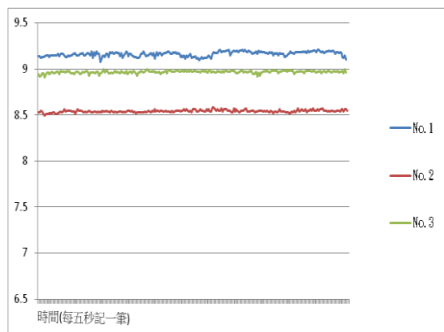


圖6 Case 1 四分管徑平均電壓

### 4.3 小型水力發電系統之六分管徑測試

本實驗採用六分管徑(20mm)的PVC管,利用沉水馬達模擬實際冷卻水系統之水流動,來探討在三種不同參數下,發電機位置對流量及總電壓的影響,來模擬整體冷卻水系統之小型水力發電模型。

如表4-3所示,可以發現Case 1,將發電機放置於上段出水口及回水口之組合,與其他兩個參數相比,其總電壓及流量都為最高,若用於實際冷卻水系統內,對冰水主機也不會造成太大影響,因此可以將發電機設置在冷卻水出口及回水口,所以可以判斷在六分管徑中Case 1為最佳發電機位置組合其各類發電機輸出平均電壓,如圖7所示。

表4-3 六分管徑發電數據

	No.1	No.2	No.3	總電壓	流量
Case 1	9.18V	9.53V	9.22V	27.93V	4.34 l/min
Case 2	9.41V	7.67V	8.55V	25.62V	4.08 l/min
Case 3	8.15V	8.386V	9.075V	25.558V	4.22 l/min

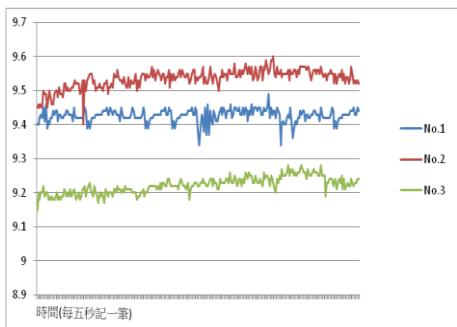


圖7 Case 1 六分管徑平均電壓

### 4.4 儲能與負載

本節對發電機所發出電量,進行儲能與負載之探討,所以採用總發電量為最高的六分管徑,作為後續應用的探討,用以評估此研究計畫之可行性。

以 Case 1(將 No.1 發電機放置於起點出來 23cm 處, No.2 發電機放置於水平中點位置距離起點 168cm 處, No.3 發電機放置於起點出來 313cm 處)六分管徑作為實驗對象,進行 3 顆發電機對 2 顆蓄電池的充電測試,發電機總電壓為 27.5V,與蓄電池串聯進行充電測試,其結果如圖 8 所示。

開始充電4小時,電壓即可充至20V,再繼續將電池充電至24小時,發現電壓上升緩慢,無法到達總電壓的27.5V,從充電結果判定蓄電池已無法再繼續充電,可能因為電流過小、電池劣化或有雜訊,導致電壓無法繼續上升。

接著以電壓22.5V接上一組24V規格之燈條進行負載測試,隨著時間的增加,電壓明顯下降,當測試時間至20小時,發現電壓降至為11V,導致燈條亮度下降,無法再使用,如圖9所示。

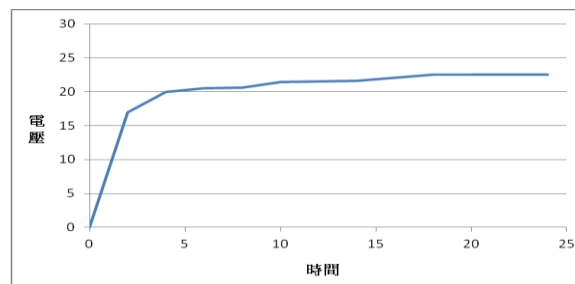


圖8 充電測試

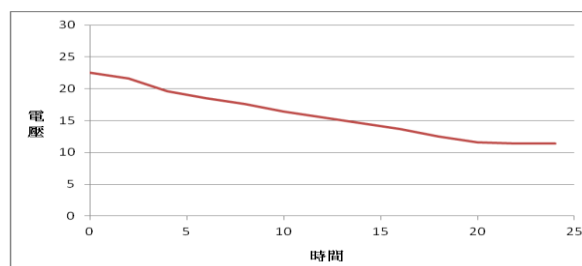


圖9 負載測試



## 4.5 結果與討論

從本實驗結果發現，在兩種不同大小管徑中的發電量，皆以Case 1之流量為最高，發電量效果也不錯，如果應用在實際冷卻水系統上，對系統比較不會造成影響，導致冰水主機散熱不良。如果從水輪機發電功率公式來看，No.1之發電量，因該以水位落差較大之Case 3為最佳，但從以上數據發現，不管大小管徑之Case 3的發電量都為最小，原因可能是因為管路摩擦損失或落差距離太小，使發電量不盡理想。從結果可以判定，在本實驗所自製的小型水力發電系統，不管大小管徑，皆越靠近冷卻水出口端及入水端的發電機之發電量為最佳，並且比較不容易增加泵浦的負載，導致影響系統流量。

## 5. 結論

空調設備對於現今的高科技產業、半導體廠及辦公大樓，可以說是不可或缺的，因此空調設備幾乎是全年運作不停歇，導致在空調電力消耗方面，所需的電費十分可觀。該如何改善現有設備，將耗電量降低或達到節能的永續發展，已經成為目前最重要的課題之一。

本研究提出利用冰水主機之冷卻水系統，在冷卻水管路中加裝發電機之概念，來達到發電效果。從以本實驗的結果看出，若要在冰水主機的冷卻水管路系統中加裝發電機，利用原有冷卻水之水流動力及建築物高低落差位能之概念是可行的，未來並可儲存電量，作為緊急備用電源，供給至一般負載。讓冷凍空調在能源節約上，達到永續發展之目的。

## 6、參考文獻

- [1] 康學元，空調節能與技術應用，城市建設理論研究，2012。
- [2] 江建樺，2005，應用模擬退火演算法於冰水主機負載分配之最佳化，國立台北科技大學能源與冷凍空調工程系碩士論文。
- [3] 上海弘綠環境科技工程有限公司，

<http://www.china-hljt.com/fn/Neng.asp?AID=306>

- [4] 許祈清、陳聰明，，大中國圖書公司，冷凍空調原理 II，2003。
- [5] 王洪鎧，冷凍空調工程，弘揚圖書有限公司，2009。
- [6] 陳柏宏、許招墉，發變電工程，高力圖書有限公司，1996。
- [7] Alison Bartle, Hydropower potential and development activities, Energy Policy, Vol. 30, pp. 1231-1239,2002.
- [8] 陳柏宏、許招墉，發變電工程，高力圖書有限公司，1996。
- [9] 簡允堅，發電工程，全華科技圖書股份有限公司，1994。
- [10] 張允昭，水輪機選擇之基本要點，電機月刊，1991。
- [11] 葛大倫，2009，建築物內水力發電裝置之研製，和春技術學院電機工程系碩士班，碩士論文。
- [12] 江榮城、廖清榮，發變電工程，全華科技圖書股份有限公司，1991。
- [13] 許繼承，2001，微動型水力發電機，中華民國新型專利 00456461。