淺談綠建築節能減碳策略—以先進環控技術為例

關鍵詞：綠建築、環控系統、節能

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／協理／施亮輝 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／技術經理／蔡福順 ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／副理／林啟基 ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／工程師／陳昭瀚 ❹

摘　要 ABSTRACT

綠建築設計概念，強調由地球環保角度出發，以全面化、系統化環保設計作為訴求的永續建築設計理念。綠建築評估系統主要分為四大範疇，包括生態、節能、減廢及健康，依據經濟部能源局歷年統計顯示，空調系統用電量佔建築物總用電量約40%～48%，照明及插座佔建築物總用電量約40%～44%，因此降低空調及照明用電均為節能首要目標。本文主要闡述各種空調節能技術及節能減碳策略，另外，本文也以桃園國際機場第三航廈設計為例，採用先進節能設計，以取得綠建築黃金級認證等級。

壹、前言

我國綠建築評估系統分為四大範疇九大指標，其中空調節能為日常節能指標，根據台電對住宅及辦公大樓研究，台灣地區夏季空調用電約佔總用電量三分之一，且有逐年急遽增加現象[1]，而新電能開發又極為緩慢，不足以應付尖峰負載成長，恐致電力供需失衡，故建築物空調節能政策實為重要一環。

綠建築設計需導入空調節能技術，而空調系統設計容量，係以空調尖峰負荷為設計依據，然而尖離峰時段、早晚及不同季節時，熱負荷變化均有差異，出現最大負荷機率甚低，因此空調設計不應僅以最大負荷來考量，如何提高部份負載效率方為課題。常見部分負載空調節能技術，包括變風量系統、變水量系統、外氣需量控制…等，另外有關整體系統性策略之應用則有優化冰水溫度、水側間接自然冷卻、外氣冷房及系統最佳化監控系統等。

本文以桃園國際機場第三航廈設計為例，對於綠建築節能減碳策略除應用一般環控技術外，也採用許多系統性節能技術，以期協助取得綠建築黃金級認證等級及確實落實空調節能減碳設計。

貳、綠建築評估指標

一、綠建築發展演進

國內綠建築發展係由民國84年內政部營建署「建築外殼節能設計法」計畫開始，85年行政院成立「行政院國家永續發展委員會」其部會包括經建會、營建署、環保署、教育部與公

表1 綠建築九大指標配分表

四大範疇	九大指標		配分上限	範疇配分
生態	1.生物多樣性指標		9	27
	2.綠化量指標		9	
	3.基地保水指標		9	
節能	4.日常節能指標	建築外殼節能指標EEV	14	32
		空調節能EAC	12	
		照明節能EL	6	
減廢	5.CO_2減量指標		8	16
	6.廢棄物減量指標		8	
健康	7.室內環境指標		12	25
	8.水資源指標		8	
	9.污水垃圾改善指標		5	
創新設計	採優惠升級之認定制度			

共工程委員會，90年3月行政院核定「綠建築推動方案」，並於91年1月1日起內政部正式頒定，中央機關或受其補助達二分之一以上，且其工程總造價在5,000萬元以上之公有新建築物，及九二一震災災區公有建築物未完成規劃設計者比照辦理，必須先取得候選綠建築證書方可申請建造。而公家機關於91年6月起強制申請「綠建築標章」[2]，讓提倡已久的綠建築標章制度在公部門先推動，同時鼓勵民間業界參與，101年5月起，綠建築評估手冊分為－基本型(EEWH-BC)、住宿類(EEWH-RS)、廠房類(EEWH-GF)、舊建築改善類(EEWH-RN)及社區類(EEWH-EC)等5類不同建築分類評估，形成管理機制。

二、綠建築評估架構

我國綠建築評估系統以生態、節能、減廢及健康等四大範疇出發，自92年起擴增採用九大指標系統，分別為生物多樣性指標、綠化量指標、基地保水指標、日常節能指標、CO_2減量指標、廢棄物減量指標、室內環境指標、水資源指標及汙水垃圾改善指標。以桃園國際機場第三航廈之建築類型係採基本型(EEWH-BC)評估系統，並以「日常節能指標」與「水資源指標」為必要「門檻指標」，亦即沒通過「門檻指標」則無法取得綠建築標章認證。其九大指標配分表如表1所示。

三、綠建築分級評估

綠建築分級制度劃分五個概率區間，得分概率95%以上為鑽石級、80%～95%為黃金級、60%～80%為銀級、30%～60%為銅級、30%以下為合格級，九大指標全部納入評估之建築案例，其分級界線圖如圖1所示。由圖1可得知，總得分在20分～37分為合格級、37分～45分為銅級、45分～53分為銀級、53分～64分為黃金級、64分以上為鑽石級。

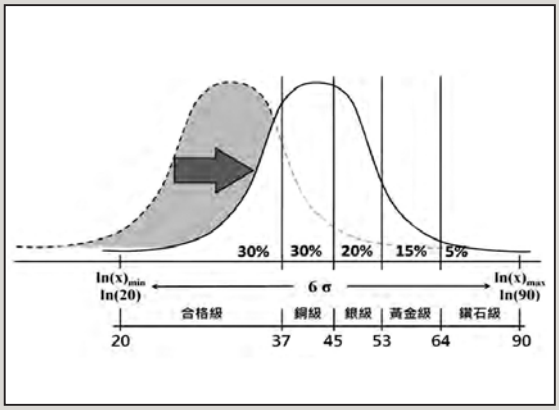


圖1 綠建築分級界線圖

四、空調系統日常節能評估

空調系統「日常節能指標」係為必要「門檻指標」之一，其技術簡易評估表如表2所示，所謂空調節能技術，係熱源系統、送風系統、送水系統、冷卻水塔、以及自然、再生能源等節能系統設計。

表2 空調節能技術簡易評估表

節能對象	空調節能技術	效率	效率標準值	採用率
熱源系統節能技術	冰水主機台數控制系統	α_1	手動ON-OFF控制：0.05	r_1＝1.0
			時程自動控制：0.10	
			邏輯策略自動控制：0.15	
	儲冰空調系統	α_2	時程自動控制：0.10	r_2(分量儲冰率)＝
			邏輯策略自動控制：0.20	
	吸收式冷凍機	α_3	瓦斯直燃：0.15	r_3(熱源容量比)＝
			熱回收式：0.30	
	變頻主機或變冷媒量VRV熱源	α_4	0.20	r_4＝
	CO_2濃度外氣量控制系統	α_5	0.15	r_5＝
	全熱交換器系統	α_6	0.13	r_6＝
	外氣冷房系統	α_7	0.06	r_7＝
	空調風扇並用系統	α_8	0.03	r_8＝
	其他熱源節能系統	α_9	(提出計算證明自填)	r_9＝
	熱源系統節能效率Rs＝1.0－Σ(αj×rj)＝　　＝，但R_s不能小於0.5			
送風系統節能技術	變風量系統(VAV)	α_{10}	變頻無段變速：0.50	r_{10}＝
			自動分段變速：0.40	
			手動分段變速：0.20	
			風車入口導流控制：0.30	
			出風口風門控制：0.20	
	送風系統節能效率Rf＝1.0－α_{10}×r_{10}＝			
送水系統節能技術	變流量系統(VWV)	α_{11}	一次冰水變頻系統VPF：0.75	r_{11}＝.
			變頻無段變速SP：0.50	
			冰水泵台數控制：0.25	
	送水系統節能效率Rp＝1.0－Σ(αj×rj)＝			
冷卻水塔節能技術	冷卻水塔水節能系統	α_{12}	出水溫度控制：0.20	r_{12}＝
			濕球接近溫度控制：0.35	
			最佳策略控制：0.50	
	冷卻水塔節能效率Rt＝1.0－Σ(αj×rj)＝			
自然能源、再生能源、節能管理等其他總系統節能技術	再生能源	β_1	20.0×再生能源節能比例Rr	
	建築能源管理系統(必須提出具全建築各設備能源系統功能設計圖說)	β_2	具監視、警報、運轉控制、計測等功能者：bx0.03	
			具能源、效率、設施計測與控制管理功能者：bx0.05	
			具最佳化策略控制管理功能者：bx 0.10	
	TAB或Cx	β_3	執行空調系統測試調整平衡(TAB)者：0.04	
			執行空調系統測試調整平衡(TAB)及性能確認(Cx)者：0.08	
	其他	β_4	(提出計算證明自填)	
	其他總系統節能效率Rm＝1.0－Σβk＝			

表3 經濟部能源局空調系統冰水主機能源效率標準[3]

執行階段			第一階段		第二階段	
實施日期			民國九十二年一月一日		民國九十四年一月一日	
型式		冷卻能力等級	能源效率比值(EER) kcal/h-W	性能係數(COP)	能源效率比值(EER) kcal/h-W	性能係數(COP)
水冷式	容積式壓縮機	<150RT	3.5	4.07	3.83	4.45
		≧150RT ≦500RT	3.6	4.19	4.21	4.9
		>500RT	4.0	4.65	4.73	5.5
	離心式壓縮機	<150RT	4.3	5.0	4.3	5.0
		≧150RT <300RT	4.77	5.55	4.77	5.55
		≧300RT	4.77	5.55	5.25	6.1
氣冷式	全機種		2.4	2.79	2.4	2.79

參、空調系統節能設計手法

依據經濟部能源委員會統計顯示，空調系統用電量佔建物總用電量40%～48%，照明及插座用電量約佔40%～44%，因此建築物節約用電，首重空調與照明。本文針對空調系統日常節能指標，加以重點說明各種節能設計手法。

一、高效率冰水主機

冰水主機如同於人類心臟一樣，為整個空調系統核心元件，也是最耗能設備，其效率高低關係到整體空調耗電量，依據經濟部能源局所訂定空調系統冰水主機能源效率標準，詳表3所示，≧300RT的離心式冰水主機其性能係數(COP)須達6.1，性能係數越高，越能達到節能減碳功效。

二、採用變風量(VAV)系統

空調送風系統若採用固定送風量方式供應室內空間，當室內負荷變動時送風量亦為固定，無法節省風機耗能，對尖峰離峰負載變化場所，則適合採用變風量系統，變風量系統可依據室內負荷變化調整風量，變風量風箱可根據室內溫度傳感器信號，改變風門開度以調整送風量。當空調分區負荷下降，該區風門會調小開度，並搭配變頻器調整空調箱風機轉速，降低風量以達節能效益。圖2為變風量風箱控制示意圖。

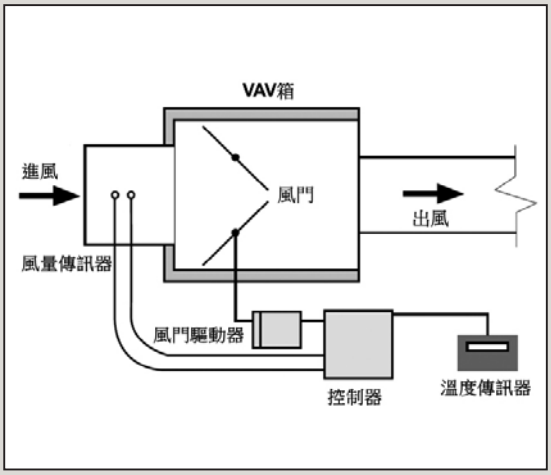


圖2 變風量風箱控制示意圖

三、採用一次側/二次側(P-S)變水量系統

一次側/二次側冰水系統，是利用「流力分離，熱力耦合」概念，將冰水主機與負載區分成獨立循環冰水系統，兩者間藉由共通管連接。一次側迴路(Primary loop)為冰水主機水路循環系統，每台冰水主機匹配一台冰水泵，通常

表4 優化冰水溫度方案比較表

系統設計方案	方案1	方案2	方案3
	(傳統溫差)	(提高溫差1°C)	(提高溫差2°C)
冰水主機冰水出回溫度	7～12°C	7～13°C	6～13°C
冰水主機容量(2000RT)	7032 kW	7032 kW	7032 kW
冷水泵流量	336 L/s	280 L/s	240 L/s
冷水泵揚程	320 kPa	320 kPa	320 kPa
冷水泵功率(效率70%)	192 kW	160 kW	137 kW
冷水泵節能率	-	20%	40%

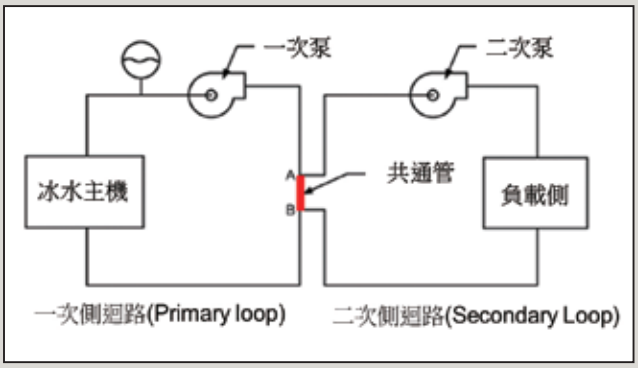


圖3 一次側/二次側冰水系統(P-S)變水量系統

以定流量控制。其總循環量等於開啟之冰水主機水量總和，而主機的運轉台數依負載變化需求啟停。二次側迴路(Secondary Loop)為負載端水路循環系統，由多台並聯二次側冰水泵浦將冰水送至負載端管路，並以變流量做為控制，如圖3所示。泵浦的變速控制以及泵浦的台數控制，主要依據內部負載變化來調整供應之冰水量，根據相似定律，水泵耗電與轉速3次方呈正比關係，尖離峰負載變動較大的空間具有較佳節能效果。

四、優化冰水溫度

冰水主機進出水溫通常7°C出水12°C回水，溫差為5°C，以能量方程式Q＝m×Cp×△T說明，Q為能量(kW)、m為水質量流率(m/s)、Cp為比熱(kJ/kg°C)常數、△T為溫差(°C)，若保持能量Q不變，提高溫差△T既可以降低水的質量流量m，相對於水泵的流量可減少並降低能耗。提高溫差可優化空調系統各設備間的能耗配比，在維持舒適度前提下，減少流量傳送能耗，同時降低初設成本。表3為優化冰水溫度比較表，由表4可得知每提高1°C溫差，水泵能耗可減少約20%。

五、採用全熱交換器系統

為維持室內空氣品質增加人員舒適度，一般空調系統會引入新鮮外氣，提供人員所需新鮮空氣，同時為達平衡需求，將室內較低溫空氣排至戶外，再經由空調回風回收再利用，以降低空調系統之外氣負荷。圖4為全熱交換器氣流示意圖，將高溫高濕新鮮外氣與低溫低濕空調回風經由蜂巢轉輪，其裝置分為兩側，新鮮外氣流經一側，熱量與濕氣被轉輪吸收，達飽和之部份持續轉到另一側。較低溫及低濕之回風流經

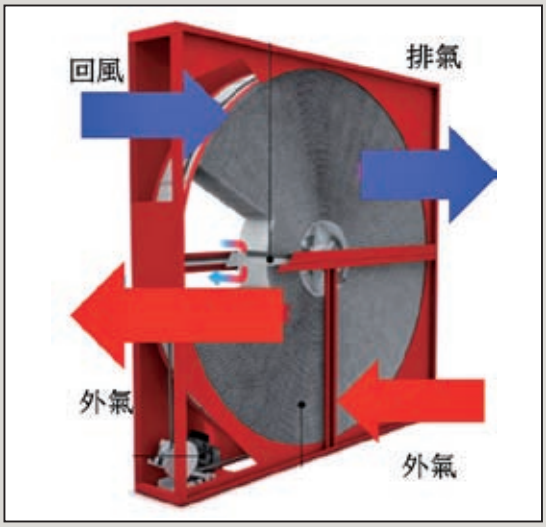


圖4 全熱交換器氣流示意圖

另一側，將熱量與濕氣由轉輪帶走，達到吸熱吸濕能力再生之效果。圖5為全熱交換器節能效率，左側僅為空調箱及混合箱系統的能耗，右側為空調箱及預冷空調箱外加全熱交換器的能耗，有採用全熱交換器的系統約可節省11%能耗。

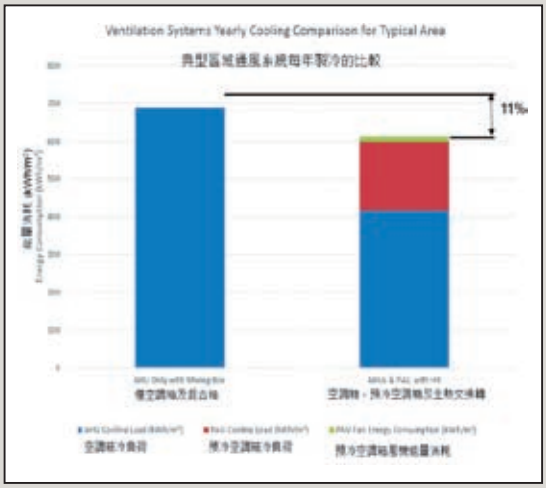


圖5 全熱交換器節能效率

肆、先進環控技術設計案例

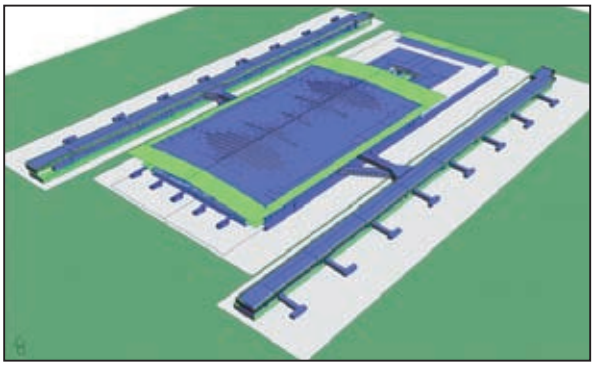
本文以桃園國際機場第三航廈(以下簡稱T3)為例，基於本案預期取得綠建築黃金級認證，故需導入先進環控技術於全生命週期階段，預計達到省電20%以上，並創造健康舒適的環境。空調系統主要分為航廈主體及南北登機廊廳空調、多功能大樓空調、停車場通風、行李處理空間冷卻及通風、廚房通風、廁所通風等。

一、空調負荷計算

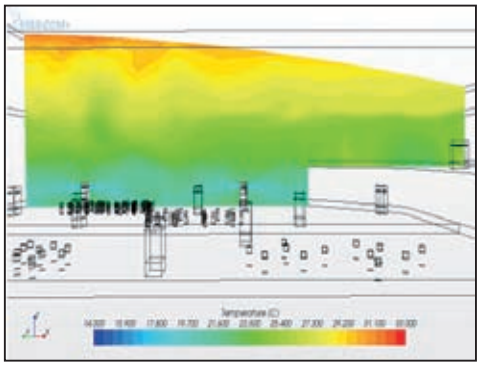
採用IESVE模擬軟體分析，計算動態空調耗能，找出最佳設計方案，如圖6所示。

二、空調水側(Water-side)節能構想

(一) T3空調水側(Water-side)系統採一次側/二次側(P-S)冰水系統，主體航廈一次側冰水迴路設置於能源中心，二次側冰水迴路則設置於各航廈主體及登機廊廳。其系統示意圖如圖7所示。二次冰水泵為變頻式，依T3的空調負荷變化，改變冰水量。二次冰水泵分為四負載區，第三航廈南、北登機廊廳、航廈主體南、北區，分區控制，減低冰水泵揚程及能耗。T3航廈的冰水系統，除節能考量外，對日後的可維修性、設備備用，亦作了詳細考量，包括冰水主機、冰水泵、冷卻水泵及水管環路等。系統設置一台備援冰水機，當其中1台常用冰水機故障或年檢時，備援冰水機將運作以維持100%的供冷量。設置備援水泵，當其中1台常用水泵故障或年檢時，備援水泵將運作以維持供水量。負載側冰水管分區採用環路配管，每一環路與兩組垂直冰水幹管銜接，以應付一路冰水



(a)動態空調耗能模擬

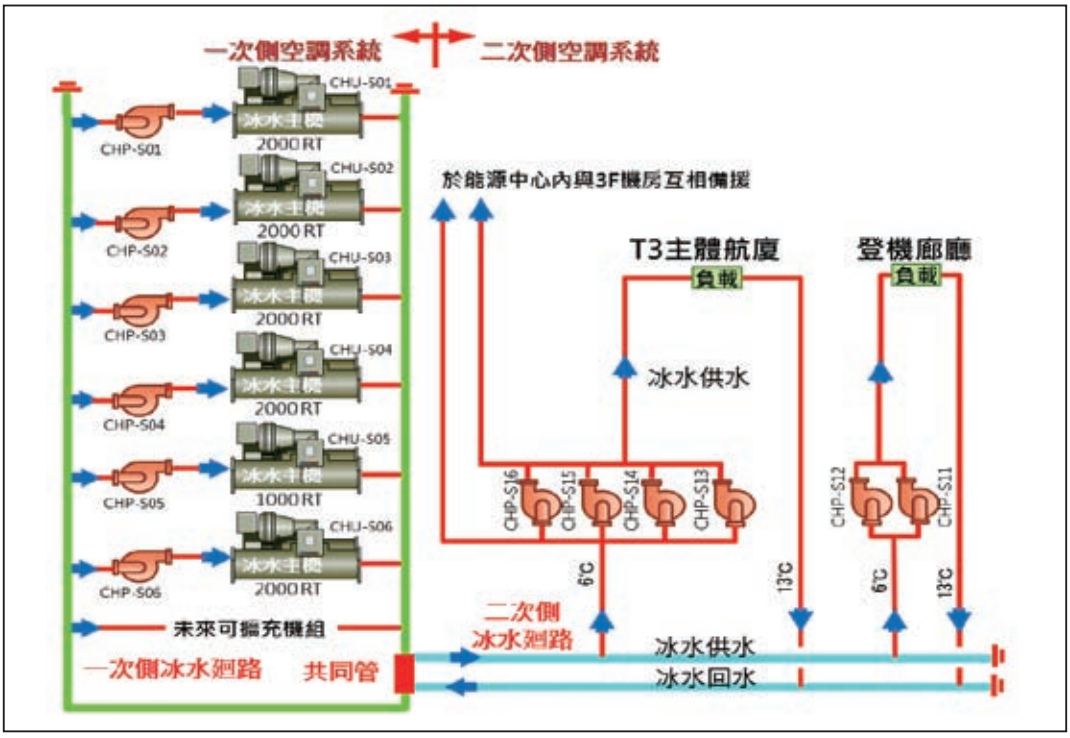


(b)大空間計算流體力學模擬

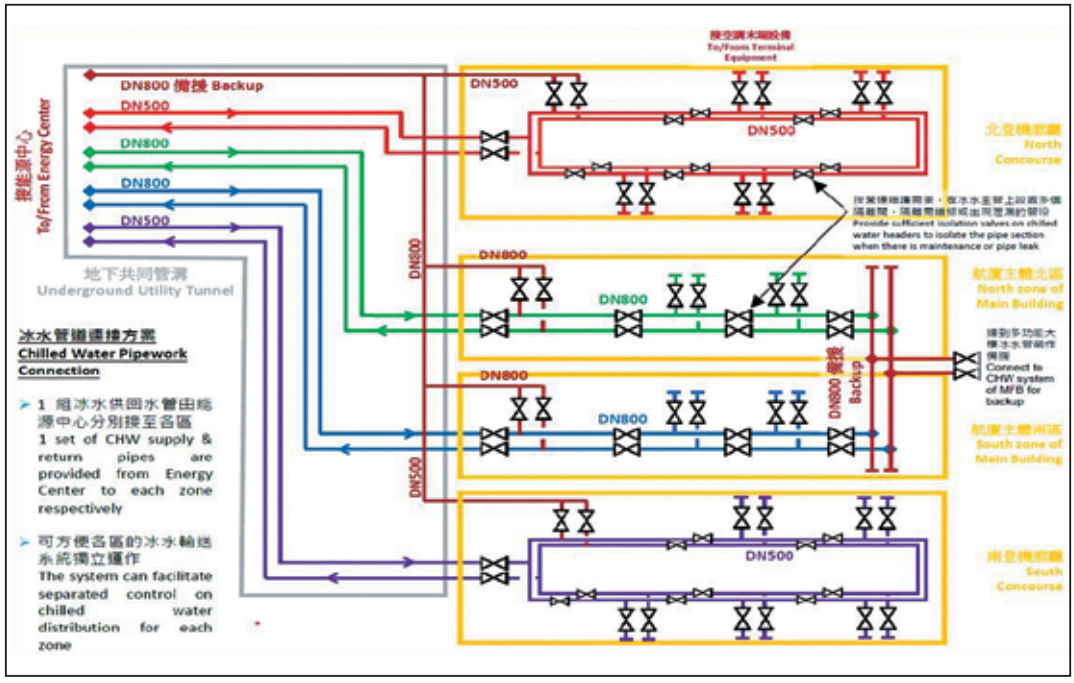
圖6 空調負荷模擬軟體分析

管維修或洩漏時，冰水能從另一路供應。

（二）優化冰水溫度，經分析冰水溫度採6°C出水/13°C回水，供應低溫冰水之冰水

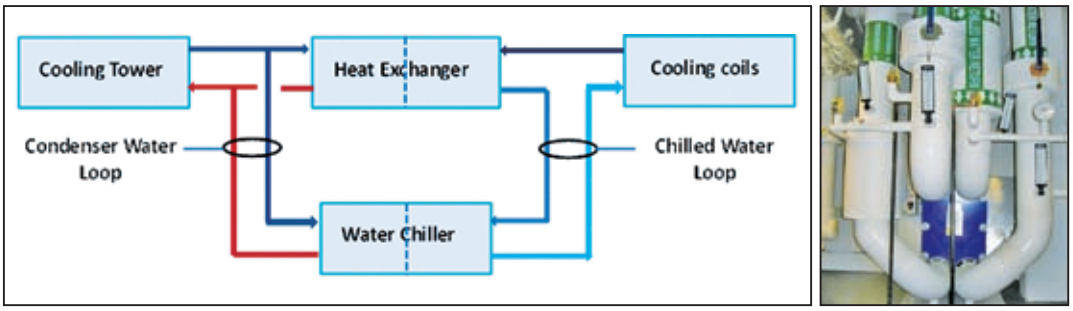


(a)冰水主機側水管系統



(b)負載側水管系統配置

圖7 T3一次側/二次側(P-S)水管系統



(a)水側間接自然冷卻示意圖　(b)水側配管圖

圖8 整合式水系統節能示意圖

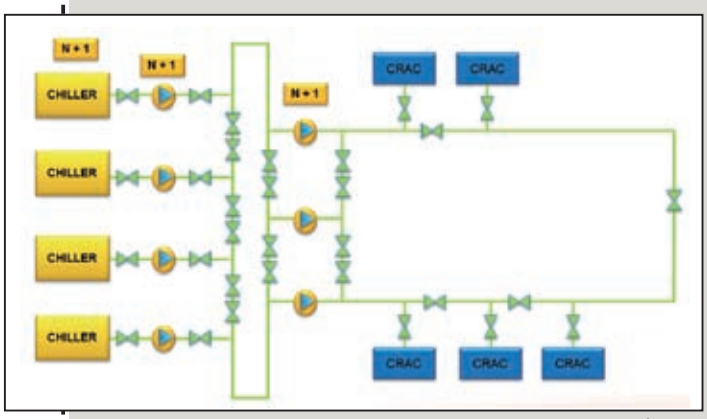


圖9 資訊機房水系統配管示意圖

機的效率會略微降低，能耗和運轉費用增加，但出回水溫差增大，循環水量變小，冰水泵用電和水管路成本會大幅降低。

(三) 主冰水機為相同容量，提高操作彈性，優化冰水機配置及簡化水力平衡，一～二部冰水機為變頻式，於部份負載，提供更高效率，減低電費。

(四) 整合式水系統節能系統，採用水側間接自然冷卻，冬天外氣溫度較低時，透過冷卻水塔產生較低溫的水供應給冷卻盤管，不需開啟冰水主機，其配管原則係以板式熱交換器隔離冰水及冷卻水迴路、熱交換器與冰水機制冷側管路串聯、熱交換器與冰水機散熱側管路並聯，如圖8所示。利用經戶外溫度冷卻的冷水，經板式熱交換器來製造資訊機房所需要冷卻用循環水，此部份主要應用於資訊機房。

(五) T3資訊機房的設施將達到Uptime TIER III Facility設施建置認證，水系統配管示意，如圖9所示，TIER III要求可同時維修性(Concurrent Maintenance)，冰水系統主已考慮N+1的設計，同時系統設置的關斷閥，採用環形迴路空調冰水系統，若系統一端的冰水管發生故障也能夠利用環形迴路繼續輸送，在水路管線某一迴路停止供水的安全情況下，可達到進行例行性維護作業，不會影響資訊機房運作。

三、空調空氣側(Air-side)節能構想

(一) 傳統空調送回風口均設置於空間上部，送風至人員活動範圍；而大空間挑高較高，若仍由空間上部往下送風至人員活動範圍，過程中須冷卻過多挑高閒置區域非人員活動範圍，產生過多能耗。因此大空間空調多採用置換式空調，採用落地式造型出風箱，詳圖10所示，使空調出回風接近人員活動範圍，避免不必要的能耗，並輔以CFD(計算流體力學)模擬檢討溫度及氣流分佈，詳圖11所示。

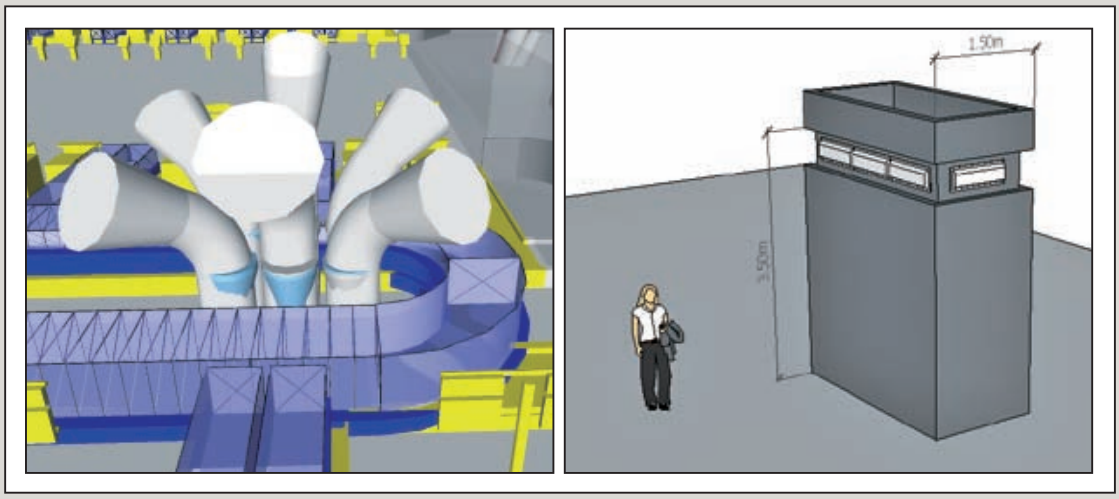


圖10 落地式造型出風箱示意圖

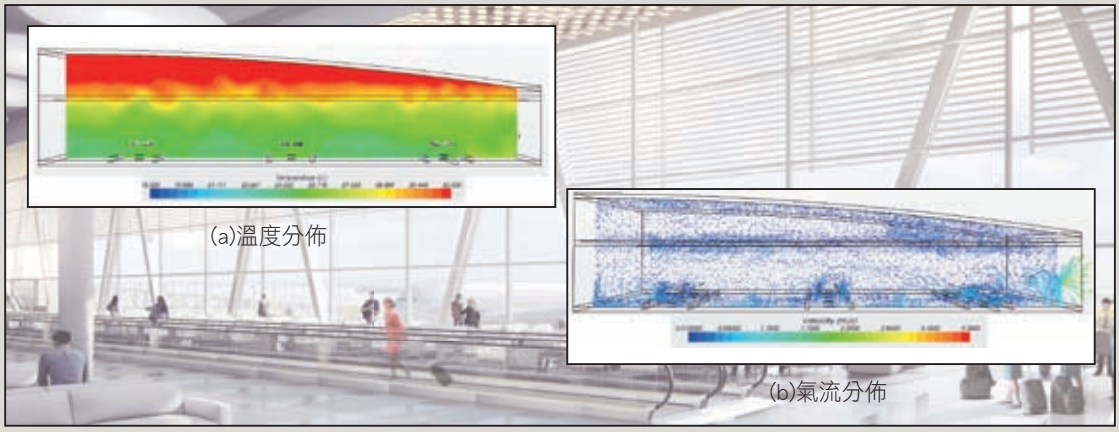


圖11 大空間空調採用計算流體力學模擬示意圖

(二) 供應各大型空間及公共區的空調系統設有多台空調箱(最少2台)，當其中 1 台故障或年檢時，其他空調箱仍可提供一定的冷量維持空間舒適度。搭配變風量系統以滿足尖離峰不同需求，詳圖12所示。並以CO_2偵測器調整外氣引入量，當離峰時段旅客人數減少，室內CO_2濃度也會相對降低，此時可減少外氣引入量降低空調能耗。

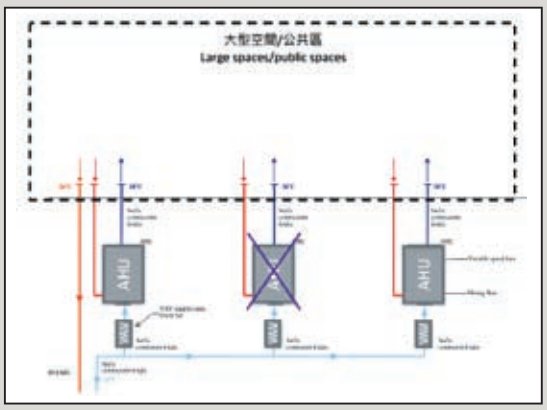
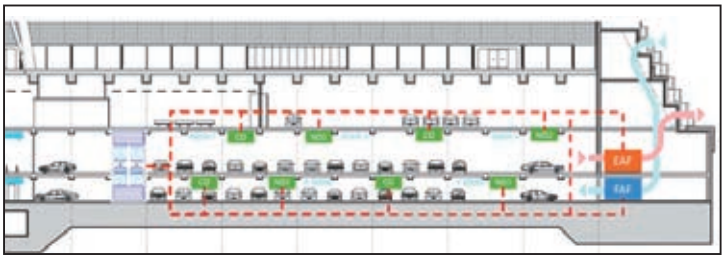
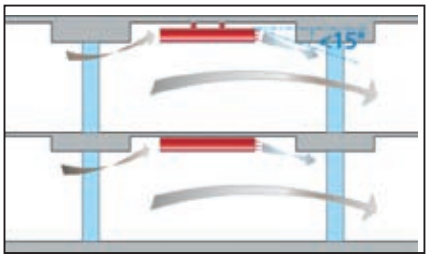


圖12 大型空間及公共區變風量空調系統示意圖

(三) 停車場通風系統採用CO及NO_2偵測器控制風機啟停，當離峰時段車輛減少，停車場CO及NO_2濃度也會相對降低，此時可減少通風量減少能耗，詳圖13所示。另由圖13(b)係以無風管誘導式風機，除了可降低風機壓降及能耗外，將誘導式風機儘量配置於樑內空間，可節省建築樓高降低初設成本。



(a)採用CO及NO_2偵測器控制風機啟停



(b)誘導式風機裝置示意圖

圖13 停車場通風系統示意圖

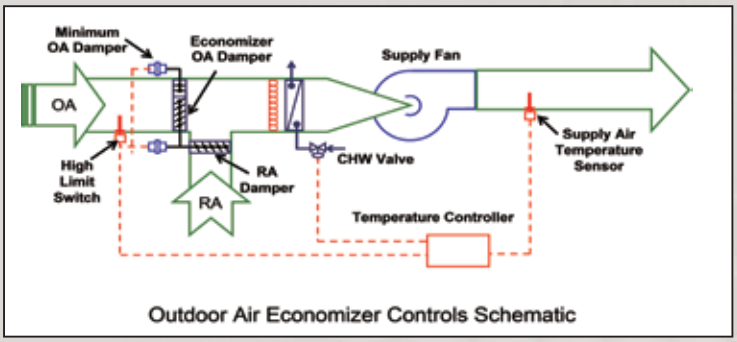


圖14 外氣冷房系統控制示意圖

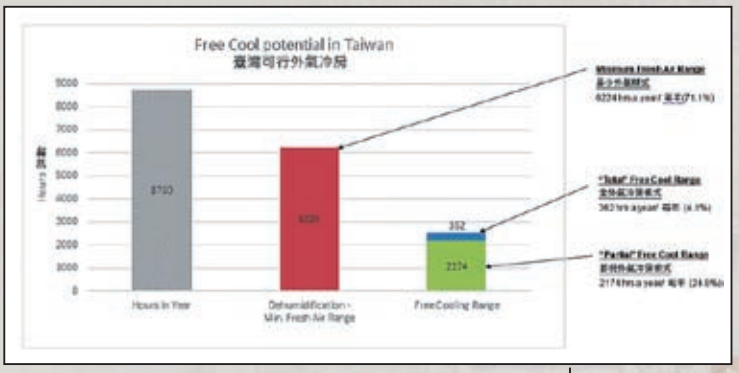


圖15 台灣外氣冷房系統可應用時數示意圖

(四) 冬季引入較低溫外氣，採用外氣冷房系統，其系統示意圖如圖14所示。平時外氣濕熱只引入最小需求量，冰水控制閥需開啟；當外氣較低溫則開啟節能外氣風門，當外氣溫度較低可滿足部分或全部之室內空調負荷時，冰水控制閥關閉，當冰水需求量降低，冰水主機可部分負載運轉，減少冰水主機能耗。另圖15則表示台灣外氣冷房系統可應用的時數，以一年8760小時而言，全年可採用部份外氣冷房模式的時數為2174小時，約佔全年 24.8 %，部分外氣冷房係指外氣溫度僅可滿足部分室內空調負荷；全外氣冷房模式的時數362小時，約佔全年4.1%，全外氣冷房係指外氣溫度可完全滿足室內空調負荷，無需提供冰水冷卻。

伍、結語

綠建築分級評估制度已在國內實行近20年，由公共建設工程開始，逐步落實於各種建築物，是提升綠建築水準的有效策略。日常節能指標之空調節能設計，可有效達到節能減碳的目的。本文以桃園國際機場第三航廈設計為例，空調系統上節能設計手法，整理如表5所示。

本文設計案例，採用各項先進環控系統，設計桃園國際機場第三航廈空調系統，預期取得綠建築黃金級認證，達到省電20%以上，並創造健康舒適的環境，並有以下二項特點：

一、獨立設置能源中心，隔離噪音振動

航廈主體不受冰機噪音振動影響，冰水主

表5 桃園國際機場第三航廈節能設計手法

系統	節能技術
熱源系統節能技術	冰水主機台數控制系統-邏輯策略自動控制
	變頻冰水主機及變冷媒量VRV熱源
	CO_2濃度外氣量控制系統
	全熱交換器系統
	外氣冷房系統
送風系統節能技術	變風量系統(VAV)-變頻無段變速
送水系統節能技術	變流量系統(VWV)-冰水泵台數控制、加大溫差
冷卻水塔節能技術	出水溫度控制

機及系統集中於能源中心管理，有效控制及平衡T3主體航廈、南北通廊之空調冰水用量，提高系統效率，減少運轉費用，選用高效率冰水機組及各項節能設計，節省電源。利用污水處理後之中水，供應冷卻水塔蒸發損失使用，節約用水。

二、營運不中斷，系統考量維護需求及備援設計

考量全生命週期需求，設計冰水主機增加備援機組、冰水環狀管路配置、一般及緊急電源、增設備用管路切換，除可維持營運需求，進行日常維修及處理緊急需要，不會造成系統中斷。

綜上所述，採用先進環控技術，除了達成綠建築節能減碳的目的，在操作維護保養上，不僅隔離擾人之噪音及振動，更易達成營運不中斷，營造人員舒適環境，符合人性化環控設計理念。

參考文獻

1. 楊正光，「電力系統需量控制之發展趨勢」，能源節約技術報導，第42期，第17-25頁，2001。
2. 內政部建築研究所，綠建築評估手冊2015年版-基本型，2015。
3. 經濟部能源局，空調系統冰水主機能源效率標準，經(九〇)能字第〇九〇〇日六一九一七〇號，網址http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=1037，中華民國九十年九月十二日。
4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，台北捷運初期路網車站環控系統節能減碳改良之研究，台灣世曦工程顧問股份有限公司104年研發計畫成果報告，2015。