

捷運車站水電、環控及電(扶)梯之節能設計

魏竹星¹ 郭朋霖² 黃作元³ 張輝隆⁴

摘要

本文就捷運車站水電、環控及電(扶)梯工程的節能設計作簡單的說明，例如：水電工程的照明節能設計、再生能源考量、直接給水方式等等；環控的溫度梯度設計、空調模式的切換、高能源效率之冰水主機及變流量系統；電梯的無機房設計、預設時間內無人使用自動關閉部份電源及交流變壓變頻器的使用；電扶梯的動力監視/負荷感應裝置及無人搭乘怠速運轉功能。

關鍵詞: 再生能源、交流變壓變頻器

Introduction of Energy-Saving E&M, Environmental Control Systems, Elevators and Escalators at MRT Stations

Wei Chu-Hsing¹ Kuo Peng-Lin² Huang Tso-Yuan³ Chang Hui-Lung⁴

Abstract

This paper introduces the design of energy-saving E&M, environmental control systems, elevators and escalators at MRT stations. Measures include lighting design, energy regeneration, direct water supplies, temperature gradient design of environmental control systems, air conditioning mode switching, energy-efficient chillers, variable flow systems, machineroomless elevators, partial power closure of elevators not used for a designated length of time, and utilization of AC-VVVF inverter, escalators power monitor/load sensing devices, and idling functions.

Keywords: energy regeneration, AC-VVVF inverter

¹ 臺北市政府捷運工程局土木建築設計處正工程司兼課長

chwei@trts.dorts.gov.tw

² 臺北市政府捷運工程局土木建築設計處幫工程司

mars168@trts.dorts.gov.tw

³ 臺北市政府捷運工程局土木建築設計處幫工程司

tyhwang@trts.dorts.gov.tw

⁴ 臺北市政府捷運工程局土木建築設計處幫工程司

hlchang@trts.dorts.gov.tw

一、前言

從能源危機、環保意識抬頭、限電、臭氧層破壞、以至溫室效應等對於能源及環境保護的現實嚴重問題，以致節能減碳為現階段最夯之議題，且為國家之政策。為了配合節能減碳政策，捷運系統亦納入相關節能設計，以下就捷運車站水電、環控、電(扶)梯工程等節能設計提出說明。

二、水電之節能設計

(一) 電氣系統：

1. 照明耗電量占建築物總耗電量相當大，尤其地下車站內在營運期間公共區需常開照明，因此照明的節能設計需依公共工程委員會所函定「公有建築物照明及中央空調系統節能規劃設計參考原則」辦理，規劃設計原則規定如下：
 - (1) 由合格電機技師進行照明節能設計，以選用高效能燈具及每單位面積之消耗電力，並提出明確的「照明節能計畫書」，計畫書內容至少應包含：節能照度計算書、照明節能控制計畫書、照明系統節能效益評估。
 - (2) 為了確保照明系統之節能效益，必須抑制超量設計，並採用高效率照明燈具，設計者所提照明節能效益評估，務必取得我國綠建築評估系統中照明系統節能效率(EL)值之合格認證。
2. 對於臺北捷運車站照明節能規劃設計說明如下：
 - (1) 設計階段之初須由設計廠商之電機技師提出照明節能計畫書，供本局審查，經本局同意後，方能進行後序照明設計。
 - (2) 節能燈具選擇：各線選用高效率之發光源燈具，於 97 年起對於捷運尚未採購燈具之在建工程及設計中工程，室內日光燈部份選用 T5 燈管，以達成節能省電環保之效益。鑑於 LED 燈具技術日臻成熟，LED 照明設備成為未來設置之方向，故於新設計之路網(萬大線第一期)開始採用 LED 燈具。
 - (3) 照明節能控制：
 - A. 車站公共區之照明採二線式照明控制系統，控制配線簡單、可作群組控制，且可納入監控系統，便於詢問處(PAO)作車站照明控制，如圖 1 捷運車站詢問處 (PAO) 內的照明控制開關。



圖 1 捷運車站詢問處 (PAO) 內的照明控制開關

B. 戶外景觀燈及 LOGO 標誌燈配合時序控制器，可於預定的時間自動的對照明環境作模式切換，或燈具的明滅控制，不須手動操作控制，可避免因忘記關燈而浪費電能。

(4) 為能實施節能控制，車站依下列原則來設計照明迴路：

A. 公共區照明迴路應以多迴路交錯配置設計。

B. 採光區與非採光區之照明迴路應分別設置。

C. 戶外及地面層出入口照明應以單獨之迴路控制(不與站內照明同一迴路)。

(5) 再生能源考量：

依行政院公共工程委員會 98 年 8 月份函頒「公共工程或公有建築物設置再生能源發電設備規劃設計參考原則」，在設計之初請設計廠商來評估捷運車站設置太陽光電發電系統、風力發電系統之效益及可行性，當評估有效益及可行時，將導入捷運車站設計，例如環狀線 Y19 五股工業區站及有太陽能光電板設備之設置，如圖 2 捷運環狀線 Y19 五股工業區站太陽能光電板設置示意圖。

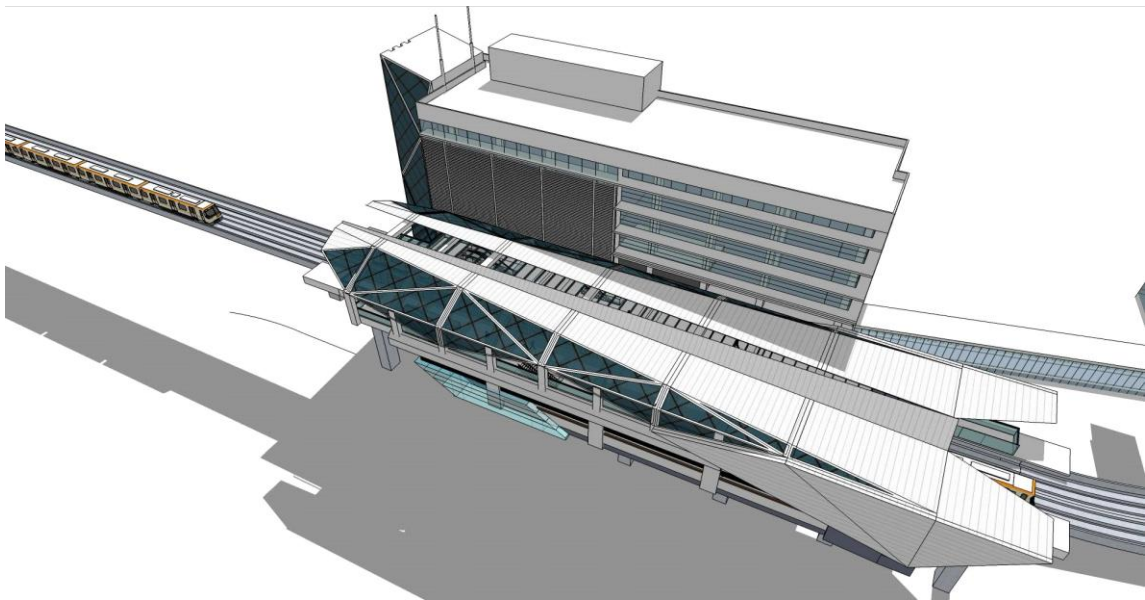


圖 2 捷運環狀線 Y19 五股工業區站太陽能光電板設置示意圖

(6) 捷運車站內照明系統節能須符合綠建築評估系統中照明系統節能效率(EL)值之合格認證〔內政部建築研究所，民國 98 年〕，綠建築之照明節能說明如下：

照明系統節能評估法以提高燈具效率與照明功率為主，其量化之判斷式如下列所示：

照明系統節能效率 $EL = IER \times IDR \times (1.0 - \beta_1 - \beta_2 - \beta_4) \leq 0.7$

所有居室燈具效率係數 $IER = (\sum n_i \times w_i \times B_i \times C_i \times D_i) / (\sum n_i \times w_i \times r_i)$

主要作業空間照明功率係數 $IDR = (\sum s \times w_j) / (\sum UP \times D_c \times j \times A_j)$

N_i 某*i*類燈具數量應附燈具配置圖並以圖例標明燈具種類並列出空間燈具表

W_i 某*i*類燈具之功率 (W)

R_i 某*i*類燈具之效率比

B_i 安定器係數

C_i 照明控制係數

- Di 燈具效率係數 (需查表)
- β_1 20.0×再生能源節能效率比例Rr (需查表)
- β_2 建築能源管理效率 (需查表)
- β_4 如光導管、光纖及光裝置等其他特殊光照明節能優待係數，由申請者提出計算值，經認定後採用。
- Swj 主要作業空間之照明總功率 (w)，為該空間燈具功率之和。非主要作業空間免評估IDR。 $\Sigma swj = \Sigma$
- Aj 主要作業空間樓地板面積 (m²)
- UPDcj 主要作業空間照明功率基準

(二) 機械系統：

1. 直接給水方式：從後續路網之新蘆、信義、松山、土城延伸線頂埔站、環狀 Y6 站、萬大等路線，地下車站平時由地面自來水供水系統採直接供水如圖 3 捷運採直接及間接給水並用之給水系統示意圖，由自來水管直接供水；即利用原自來水管具有之水壓及經由地下車站高程差來提供捷運車站地面層植栽噴灌用水、站內衛生器具用水及清潔用水等，當供水水壓不足或停水時，方利用泵浦抽取儲水箱內水源供應，以減少給水泵運轉時間而節約能源。相較於早期捷運車站先將自來水注入儲水箱後，再以加壓泵浦供水之方式，節省了加壓泵浦所耗電力，間接也獲得節能減碳之效果。

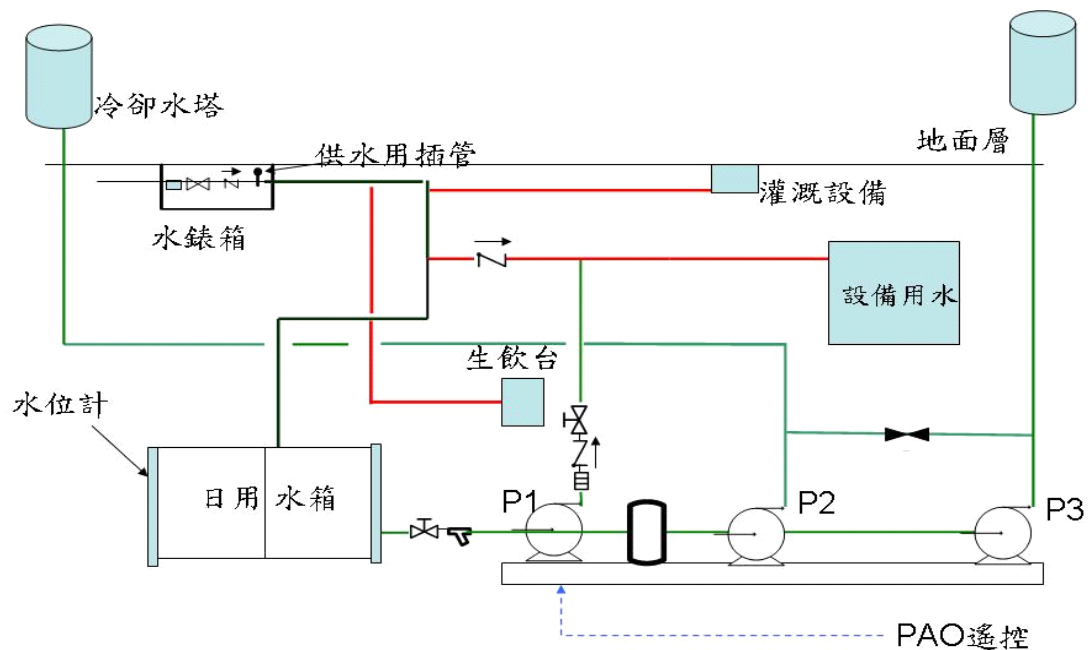


圖 3 捷運採直接及間接給水並用之給水系統示意圖

2. 採用具省水標章衛生器具：使用具省水標章之衛生器具（如馬桶、小便斗、水龍頭等）是政府近年來大力推行之政策之一，也是目前捷運車站所必須採用之省水器材；若使用具省水標章馬桶比一般馬桶之一次用水量，可由 13 公升降低至 9 公升，其省水效果即達 30% 之效益。
3. 變頻器控制：當電動機需要變更速度時，採用變頻控制，是一種有效的方法，因利用頻率變化改變速度，其電力損失較少且速度較穩定，故各路線泵浦採恆壓變頻方式，依不同用水量而運行，如圖 4 捷運車站恆壓變頻給水泵浦。



圖 4 捷運車站恆壓變頻給水泵浦

三、環控之節能設計

空調系統節能減碳最有效的方法為減少空調之使用量，因為空調系統用電依經濟部能源局「空調系統能源查核及節約能源案例手冊」〔經濟部能源局，民國95年〕之資料顯示佔建物整體用電之41%-56%，因此一提到節能，大部份之焦點均在探討如何減少空調之用電，然許多人均著重在空調負荷之計算、設備能源效率之提昇改進或在系統之選用上費心思，加上處於空調需求日增之經濟社會中，僅從空調系統本身談節能確實不易有效達成目標，實務上節能為一跨領域之整合性工作，須各方面之配合方得以事半功倍；比如在設計上可利用建物開放空間之特性，採用自然通風減少使用空調，捷運淡水線之高架、地面車站即是一例，又如以建築遮蔽或隔絕之方式降低太陽輻射熱比於室內增加空調容量有效且節能，再如於各機電系統設備之設計選用上若注意提昇其效率亦可減少空調負荷；另外在施工階段不僅設備安裝就位，空調系統應確實做好測試、平衡及調整（Testing, Adjusting, Balancing, TAB）工作，以及系統後續營運期間之維護保養等工作皆影響節能成效。

捷運空調系統在規劃設計以使用市場成熟之產品及技術且系統簡單可靠易於操作維護使用為原則，目前車站採用中央空調系統設計，系統分為水側及風側系統，風側系統主要負責

公共區（乘客活動之區域）的空調其設備主要為空調箱及相關之回風及新鮮空氣風機等所組成，水側系統主要負責非公區（如機房及員工辦公室）之空調，以下將就空調系統目前節能考量之內容簡單介紹說明如后：

- (一) 車站穿堂及月台層採溫度梯度之設計：捷運公共區空調系統在規劃設計之初，考量捷運乘客從站外進入車站到搭上電聯車之間，依其行為分析屬短暫停留性質且為避免在空調與非空調間通過時可能造成之熱衝擊，應用相對溫感指標(Relative Warmth Index)〔Transit Development Corp.,1976〕作為空調溫度之規劃設計，其原理係考量人體在不同活動狀態下的新陳代謝率、環境溫溼度、環境風速、衣著等因素，在維持大部份人舒適不變之原則下，適度調高空調設計溫度，其實務之作法為將車站公共區之穿堂層、月台層規劃為具溫度梯度（即穿堂層為 30℃，月台層為 28℃，再加上電聯車之 24-26℃，形成一溫度梯度）之方式來進行設計；雖空調設計溫度較高，但乘客由站外較高溫之環境進入車站時，會隨著進入車站不同樓層而逐漸感受到較低之室內溫度，得以維持大部份乘客應有的舒適感，及至月台層候車時，一般人體之新陳代謝率會在 6 分鐘時間內逐漸適應周遭之環境溫度，而乘客在此時間內已搭上電聯車進入車廂內，一般人體舒適之空調環境溫度，在整個乘車之歷程中仍可維持大部份乘客應有之舒適感。此種不須提供車站太低空調溫度設計之優點在於利用乘客在捷運車站內短暫停留之特性，維持乘客應有之適舒感，除可減少空調負荷節能外，由於漸進式之溫度設計也可減少因室內空調溫度與外界環境溫差太大所造成之熱衝擊效應，避免乘客因溫差所造成之身體不適。尤其在現階段重視能源議題之今日，各級政府對於空調使用量大的場所均訂有相關規定作原則性之要求，如經濟部能源局在 103 年 08 月 01 日新修訂之「指定能源用戶應遵行之節約能源規定」、臺北市政府產發局於 99 年 08 月 11 日頒佈「臺北市工商業節能減碳輔導管理自治條例」及其相關之施行細則或執行作業要點，對於場所之空調系統設定溫度均要求不得低於 26℃，且設計時應有冷氣不外洩之考量等要求。
- (二) 利用季節氣候設計不同空調運轉模式：捷運系統地下車站公共區空調系統，原則上採用全氣式空調系統(All Air System)，其主要作法為採用集中式空調箱設計，再由風管佈設至公共區各樓層空間提供空調，各車站可配合季節氣候（如夏、冬等季節）之需求，以不同模式（如閉路循環、開路循環等模式）來運轉達成節約能源目的；至於採用何種空調運轉模式係以站內外空氣之溫溼度（焓值）來作決定。當外氣焓值高於站內焓值時，則空調系統採閉路循環模式運轉，此時空調系統將由回風機抽回大部份之車站空氣與補充新鮮空氣風機所提供之外氣混合後，經冷卻、過濾後再送至車站公共區。當外氣焓值低於站內焓值時，則空調系統將採開路循環模式運轉，此時空調回風機將車站抽回之空氣直接排至站外，而由新鮮空氣風機引進外氣，經過濾後直接送至車站公共區，此時車站之主冰水機則關閉以節約能源。
- (三) 選用能源效率高之冰水主機：
依經濟部能源局之「空調系統能源查核及節約能源案例手冊」調查分析中，空調系統佔建物之用電為最大（41%至 56%），而空調系統之用電中又以冰水主機為最大，約佔空調系統之 60%〔陳啟中、王裕仁、王和源，民國 103 年〕，因此設計上對於冰水主機之能源效率必須特別加以納入考量，目前係以符合經濟部能源局訂定之「空調系統冰水主

機能源效率標準」為依據，如表 1 空調系統冰水主機能源效率標準；以現階段捷運常用之 150 至 200 噸 (RT) 螺旋式冰水主機而言，其性能係數(COP)值需達 4.90，亦即每仟瓦 (Kw) 之電力必須產生至少 4.9 仟瓦 (Kw) 或 1.394 噸 (RT) 之製冷能力，或每冷凍噸 (RT) 之耗電量不得大於 0.717 Kw。

表 1 空調系統冰水主機能源效率標準

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	3.50	4.07	3.83	4.45
		≥150RT ≤500RT	3.60	4.19	4.21	4.90
		>500RT	4.00	4.65	4.73	5.50
	離心式 壓縮機	<150RT	4.30	5.00	4.30	5.00
		≥150RT <300RT	4.77	5.55	4.77	5.55
		≥300RT	4.77	5.55	5.25	6.10
氣冷式	全機種	2.40	2.79	2.40	2.79	

另在實際應用上為提高冰水主機運轉之彈性，採用雙壓縮機之配置方式如圖5螺旋式冰水主機，除可依實際負載需求啟動壓縮機外，在部份負載時，可讓主機能儘量在最高之效率下運轉，以節約能源。

(四) 採用變流量系統設計：空調水側系統採變流量設計，目前捷運之實際應用有採簡單臺數控制之變流量設計如圖 6 冰水泵，可依負荷啟動冰水主機及其泵作臺數運轉控制，亦或是採用一次側與二次側之冰水變



圖 5 螺旋式冰水主機

流量控制，車站空調系統主要都是機房設備與公共區乘客之負荷比較單純，應用以簡單之臺數控制已足敷使用，至於複雜之變流量系統則較常使用於捷運機廠之管理中心大樓，以因應其不同區域及使用時段之空調負荷變化。



圖 6 冰水泵

四、電(扶)梯之節能設計

(一) 電梯

1. 採無機房式電梯：自文湖線內湖段起之捷運後續路網各廠站使用無機房電梯，除節省機房空間外，因其驅動主機整體效率較液壓式電梯為高，故可節省能源消耗。無機房電梯相較於初期路網之液壓式電梯及一般大樓電梯（捷運較高樓層車站亦有使用，如三重站），其所用之永磁式馬達具有低能源、高效率、符合環保要求、輕便靈活、堅固耐用、平穩安全等優異表現。

無機房電梯所用之永磁馬達主機如圖 7 及圖 8，其轉動件主要原料係採用化學元素表上稀土族之材質，該材質具有磁性，可藉由磁性使主機產生旋轉，而其旋轉速度較傳統主機慢，可免去使用減速齒輪之龐大量體，其與油壓式及一般捲揚式不同驅動方式之各項性能比較如表 2 電梯驅動方式比較表（以 1000 公斤/15 人份電梯之規格比較）：

表 2 電梯驅動方式比較表

1000 公斤/15 人		油壓式 主機	捲揚式 VVVF 主機	PM 永磁 主機
速度 (公尺/秒)		1.0	10	1.0
馬達功率 (kw)		27	5.5	約 5.7
標準電流值 (Amp)	一般	65	25	約 14
	啟動	80	35	約 20
主保險絲容量 (Amp)		80	35	約 25
耗電量 (kwh/year)	啟動頻度 100000 次/年	100000	3700	約 2800
	啟動頻度 200000 次/年	18000	6200	約 3500
	啟動頻度 300000 次/年	26000	7500	約 4400
熱損失(kw)		6	3.5	約 1.0
耗油量 (公升)		300	3.5	0
重量 (公斤)		1200	650	約 330
標準噪音量(dBA)		65-70	65-70	約 50-55
最小機房面積 (m ²)		10	15	0

註：噪音為距離主機 1 公尺處之量測值

- 預設時間內無人使用自動關閉部份電源：捷運電梯於預設時間內無呼叫(無人使用)時，可自動關閉車廂內通風及照明設備，以節省能源消耗。
- VVVF 變壓變頻：交流變壓變頻式(AC-VVVF)，係最新馬達控制方式。此種控制方式將交流三相動力電源整流為直流電源之後，再依事先設定加減速曲線分割在電壓、頻率可變之三相電源輸出；藉由電壓及頻率之控制，達到控制馬達轉距的目的。此種控制方式可得到平滑之加減速曲線，並可減低馬達運轉電流，藉以達到平穩舒適之搭乘效果及降低週邊設備成本、節能省電等功能。



圖 7 無機房電梯之永磁馬達(扁平式，馬達位於側邊) (1)



圖 8 無機房電梯之永磁馬達(圓柱式，馬達位於升降道頂部) (2)

(二) 電扶梯

1. 變頻控制省能裝置：電扶梯具有動力監視/負荷感應裝置，反應實際運轉情況，以變頻控制方式調節驅動馬達之動力輸出以達省能目的。
2. 無人搭乘怠速：自文湖線內湖段及後續路網(新蘆線)起設置無人搭乘怠速(0.2m/s)運轉功能，如圖 9 電扶梯無人搭乘怠速(左側立柱顯示)，以進一步節省能源。當一段時間沒有人搭乘時，電扶梯以無人搭乘怠速運行以減少電量，當有乘客要搭乘時在進入乘場時兩旁的立柱上之紅外線感應裝置馬上啟動電扶梯以較高速運行。
3. 雙速選用功能：自文湖線內湖段及後續路網(新蘆線)起設置電扶梯雙速度(0.65m/s 及 0.5m/s 二種速度)供營運單位視實際營運狀況選用，以節省能源及兼顧旅客安全。

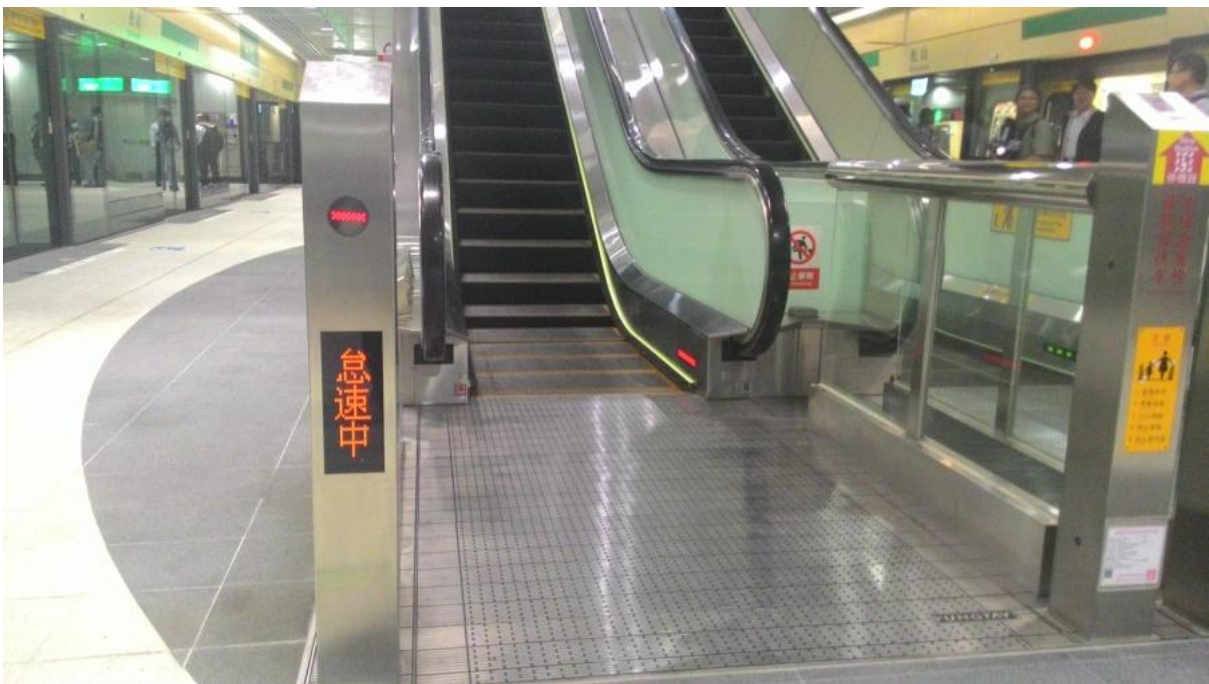


圖 9 電扶梯無人搭乘怠速(左側立柱顯示)

五、結語

節能減碳為目前國家之政策方向，亦為世界之潮流，捷運系統自然必須配合，惟臺北捷運關係每日一百多萬人行的權利，在引用新技術之同時亦必須兼顧其為市場上成熟且有成功使用實績之產品或技術，節能減碳為一整體性之工作，必須各領域從設計、施工及至後續營運之維護保養等各方面互相配合，才可創造出最大之節能效果。

參考文獻

1. 內政部建築研究所(民國 98 年)「綠建築解說與評估與評估手冊」，第 84 頁。
2. 經濟部能源局(民國 95 年)「空調系統能源查核及節約能源案例手冊」，第 2 頁。
3. Transit Development Corp.(1976)“Subway Environmental Design Handbook,”Volume I,Principles and Applications Second Edition,pp.2-4
4. 陳啟中、王裕仁、王和源(民國 103 年)「應用 VE 技術探討空調設備性能改善之效益」，價值管理期刊，第二十一期，第 61 頁。