



編者的話

曾幾何時，電腦及網路作業對企業體而言，就像是大腦中樞神經般的重要，掌控著每日的運作，電腦機房也成為企業每日作業核心。近年拜科技發展之賜，資訊設備也持續朝小型化發展。電腦機房中，高密度的設備導致發熱源更為集中，有效的散熱技術變成電腦機房安全與節能的首要考量。隨著節能減碳概念普及，綠色科技也全面性進入個人與企業環境，綠色電腦機房的概念蔚為風潮。電腦機房如何在現有設計下，用最經濟的成本及最佳的節能技術改善來達到節能的目的，本期通訊持續探討，並提供企業未來建置新機房的一些建議。

此外，本期也針對再生能源中最具潛力的太陽光電系統特性、原理、種類及設置條件等做一簡單介紹，同時提供了目前政府補助及躉購太陽光電的鼓勵優惠措施，在能資源成本節節高漲的年代，太陽光電或可成為另一種新能源選擇。

本會在廢棄物資源化再利用技術深耕多年，在全球推動節能減碳風潮之下，本期更進一步藉由電弧爐爐渣之研究，說明如何將原本被視為廢棄物的電弧爐煉鋼業副產品電弧爐爐渣，逐步應用在如瀝青混凝土粒料、道路工程級配料等正規工業用材料，系統化解決廢棄物資源化產品去化問題，使資源不斷循環利用。

淺談電腦機房空調環境與 節能應用技術 下

▶ 專案四部 吳建德

四、節能改善技術之應用

由電腦機房的設備配置與氣流模式討論可得出一個簡單的觀念，機房的冷熱氣流混合愈嚴重顯示能源損耗愈大，即整體電腦機房之能源使用效率愈低，而要改善電腦機房冷熱空氣的混合狀況，首要工作必須建置冷熱通道，將冷空氣與熱空氣在機房內的活動路徑盡可能的分離，或減低混合的路徑長度，以面對背機櫃排列方式而言，當冷空氣由第一組機櫃前端進入且由機櫃後方排出時，已經進行第一次熱交換，排出的空氣溫度已較地板出風口的冷空氣高很多，此時卻與周圍較低溫空氣混合後進入下一個電腦機櫃，因此第二組電腦機櫃的入風口溫度較原來冷空氣溫度高，導致散熱效果也較差，如圖5所示，以此類推，位於最後一排的電腦機櫃散熱狀況最為不良，為預防最後一組電腦機櫃因機組過熱而跳機，故現場人員必須再降低空調系統的出風溫度，或者在後幾組電腦機櫃處再增加冷空氣出風口，此種面對背機櫃排列方式因機房氣流並無排列規劃，必須遇到需求不足時才進行補救，而冷熱氣流混合問題常常導致許多不易察覺的局部熱

點產生，越是在發熱密度較高的電腦機房越是應該重視機房內的冷熱通道規劃問題，因為局部熱點的形成會更加嚴重；混風的效應不僅影響機櫃散熱效果，當高溫熱回風因混合冷空氣後而降低溫度回到箱型機時，因空調系統出回風溫差不大，使空調主機處於較低負載下運轉，由主機效率曲線可知低載運轉的主機效率較差，而另一方面電腦機房又因混風問題調降出風溫度，依中國技術服務社節約能源技術手冊⁽⁶⁾與綠色生產力基金會空調系統管理與節能手冊⁽⁷⁾可知調降冰水出水溫度1℃必須額外消耗壓縮機耗電1.5~3%，意謂混風問題可能同時造成空氣側與冰水側雙方面的能源損耗；若將電腦機櫃的排列方式改變為面對面排列，使冷空氣與熱空氣有各自的行進路徑，冷空氣可直接進入電腦機櫃內進行熱交換，而前後排機櫃也較不會產生散熱不均的問題，如圖6所示，即可避免過度調低空調系統的供風溫度與主機低載運轉問題。

若電腦機房內使用的空調系統為高架地板形式的空調箱或箱型冷氣機，冷空氣由地板下通往出風板塊進入冷通道，熱通道上方



無天花板回風通道，而是使用自然對流方式讓室內熱空氣回到空調箱的回風口，此種情況需特別注意其排放的位置，一般認為應該將箱型機置於冷通道前後方，使其供應之冷空氣可以最接近冷通道出口，雖然冷空氣移動至機櫃的距離縮短，但熱空氣回風的路徑可能出現另一種與預期中截然不同的現象，試想將箱型機設置於冷通道兩端或是水平於機櫃排列的兩邊，熱空氣必須由熱通道跨越冷通道才可回到箱型機的回風口，在接近箱型機的區域形成嚴重的冷熱氣流混合情形，如圖7所示，因此，將箱型機排放於熱通道兩端才是最佳的位置，使熱回風直接由熱通道快速進入箱型機內，如圖8所示，以減少冷熱空氣混合的機率；此外，若機房的架構並非高架地板型式，則應將箱型機排放於冷通道兩側，使其冷空氣直接吹入冷通道，形成保齡球道效應(bowling alley)。

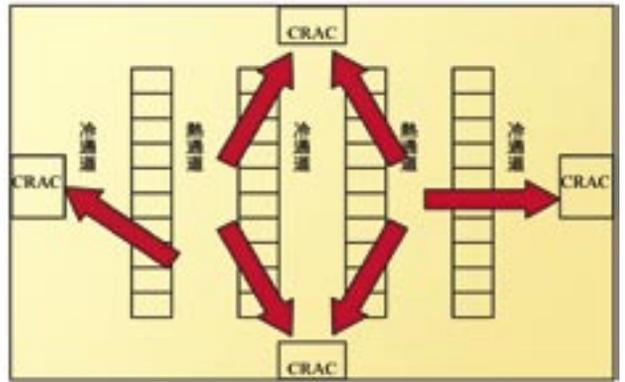


圖7 箱型機置放於冷通道兩端時之熱氣流移動情形

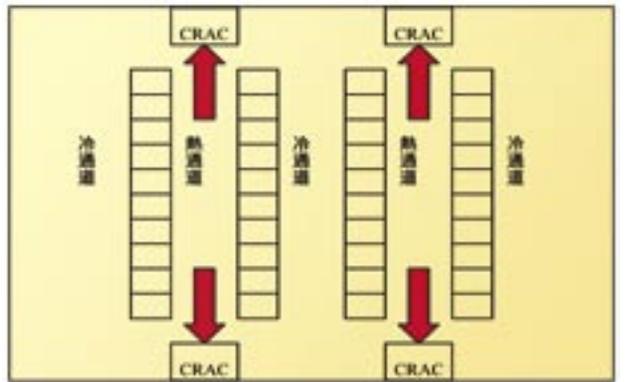


圖8 箱型機置放於熱通道兩端時之熱氣流移動情形

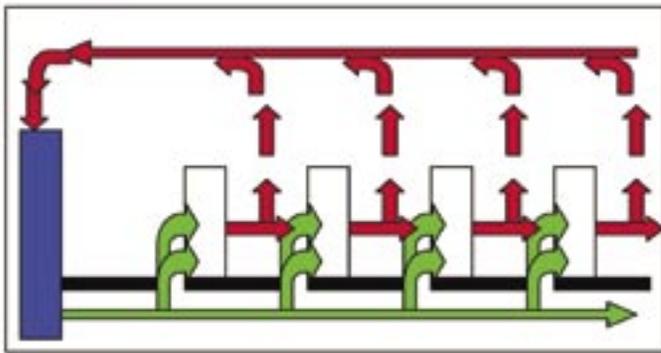


圖5 面對背電腦機櫃排列方式之氣流循環

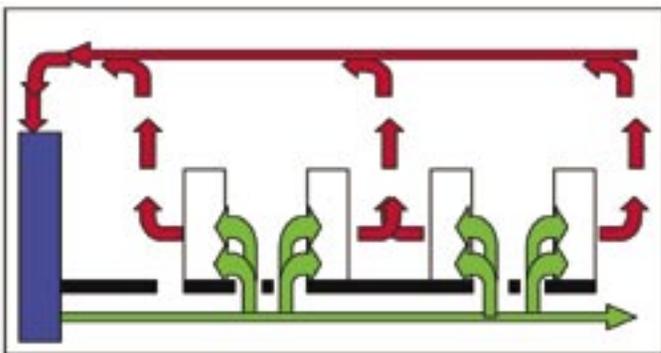


圖6 面對面電腦機櫃排列方式之氣流循環

一般電腦機櫃背部為熱空氣排出口，溫度通常是整個電腦機房內最高的地方，因此特別容易被注意，有些操作人員就在那些地方增加地板出風口，希望可以直接將熱量帶走，如此一來非但無法達到最佳的機櫃內部散熱效果，反而會因混風情形而加倍消耗能源與降低空調系統的冷卻效率，正確做法應是僅在冷通道內排放地板出風口板塊，且盡可能地靠近電腦機櫃前端口吸入口，熱通道不宜放置任何具有孔洞的地板塊，確實將熱通道的熱空氣與地板下的冷空氣完全隔離，若有天花板回風板塊的設置，應將其擺放於熱通道內，冷通道不宜放置任何回風板塊，用意除了防止冷熱空氣的混合作用之外，亦避免冷空氣短循環的情形；在高架地板下方的線路也需要規劃與整理，過多的排線會造成冷空氣移動滯礙難行，某些地板出風口可能

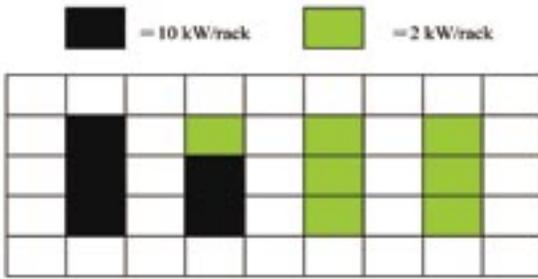


圖9 高耗能機櫃集中置放情形

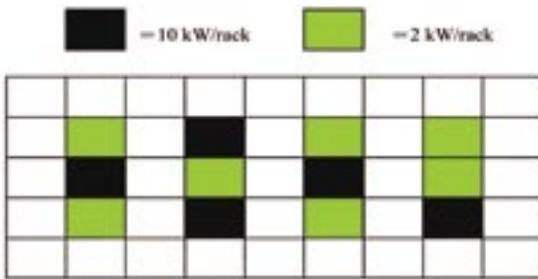


圖10 高耗能機櫃分散置放情形

因此得不到足夠的冷空氣量，而雜屑與灰塵會阻塞出風板孔，甚至進入IT設備內部引發損害；若電腦機房內有已停用或待整修的電腦機櫃，先將其前端地板出風口封閉或置換為無孔洞地板，盡量隨時排除未有使用的地板出風口，將其擺放至較高發熱機櫃的吸入端，有效利用既有的冷空氣量，亦可避免冷熱氣流混合機率；為防止電腦機房內出現地板出風型式之空調系統無法降低的局部熱點，應將高發熱機櫃分散錯開置放，如圖9~10所示，使每一區域的平均發熱情形接近平衡，以利空調降溫時可達電腦機櫃的散熱需求。

一般電腦機櫃為方便IT設備置入，前端通常不設阻隔物，但機櫃內部空間並不會完全放滿設備，因此會留有些許的空隙孔道，若忽視這些夾縫空間的存在，則無形之間產生許多的能源消耗而不自知；當冷空氣由機櫃前端被吸入IT設備內進行熱交換，冷空氣升溫變成熱空氣，由機櫃後端準備排出，此時，熱空氣受到前方吸入端的牽引，一部分

熱空氣由機櫃內的閒置空間拉回到前端再次被吸入IT設備內，形成機櫃內部熱空氣的短循環，而回流的熱空氣與前端預備進入機櫃的冷空氣混合，產生了本文極力提及要避免的混風問題，在無設備櫃位前端加裝盲板即可得到改善，如圖11所示，使空氣經過機櫃的唯一通道只剩下IT設備本體，排出之熱空氣不會受到機櫃前端的吸引，縱然熱空氣由機櫃閒置空間回流也因有盲板的隔離而無法回到機櫃前端，如此一來，熱空氣短循環或機櫃內部混風問題即迎刃而解。

目前電腦機房的設計理念，趨向於將整體機房或是機櫃內部的冷熱空氣分離，分離的程度越高，節能的越好，此觀念的應用技術非常廣泛，大由機房整體供回風系統，小至電腦機櫃內部的冷熱空氣導流裝置，有模組化商品，也有個別應用商品，美國冷凍空調工程師協會在資訊設備用電趨勢與空調應用(Datacom Equipment Power Trends and Cooling Application)⁽³⁾中提出幾項較常見的機房冷卻應用設備，以下簡單說明：

1. 頂板分配系統(Overhead Distribution)：

此種系統架構於冷熱通道的觀念上，可算是傳統設計的改良版，冷空氣的輸送由分布於天花板內的風管進行，冷風管強迫將冷空氣直接吹入冷通道內，熱空氣再由自

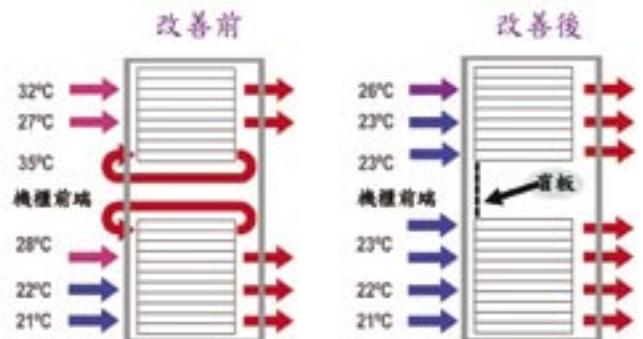


圖11 使用盲板破壞機櫃內部短循環 [APC]



然回風方式溢入牆壁上的回風孔穴，如圖12所示，因冷熱空氣的浮力效應與出回風口的高低位差，使機房的混風情形減輕許多。

2. 出回風氣流管理(Managing Supply and Return Airflows)：同樣架構在冷熱通道的觀念上，僅在不同部位作些許的改變，使氣流混合的情形可以降低更多；使用夾層天花板當作熱回風通道，其結構與高架地板作為冷風通道的方式很像，如圖13所示；在兩機櫃之間的冷通道上方加蓋阻隔板，使冷通道徹底與其餘室內空間隔絕，外觀就像是個小通道，如圖14所示，部分廠商甚至將通道兩邊封閉，強迫冷空氣必須經過機櫃本身才能脫離冷通道，以此種方式避免冷熱氣流混合的效果非常好，但因封閉的通道外蓋使得內部情形不易察覺，因此若發生火警或危安事件時，危險性相對增高很多；另外，運用一些個別裝置並且結合風道導流的觀念，可將冷空氣有方向性的直接引導至電腦機櫃內部，熱空氣同樣規律的引導回到冷卻主機，電腦機房不再需要多餘的空調供風，所有的冷熱交換行為都在機櫃內進行，如圖15所示，空氣引導元件分為分配與排除兩種，裝設於機櫃的前端與後端，空氣分配元件主要目的在於強迫地板下的冷空氣透過元件直接進入IT設備的吸入端，冷空氣的移動路徑甚至不經過冷通道，或可說是將冷通道建置於IT設備的吸入口端，空氣排除元件主要目的在於強迫IT設備排出之熱空氣直接由熱風通道直接回到冷卻系統內，同樣是將熱通道建置於IT設備的排氣端，如圖16所示，若兩種元件同時都裝設時，電腦機房的冷熱空氣幾乎沒有任何交錯的路徑。

3. 區域分配系統(Local Distribution)：透過

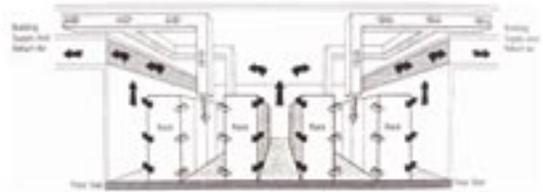


圖12 頂板分配系統的空氣循環

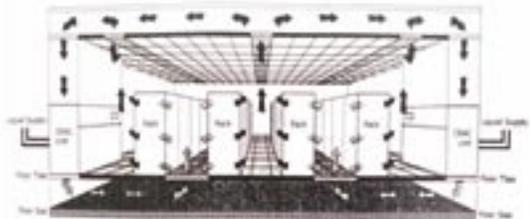


圖13 夾層天花板回風系統的空氣循環

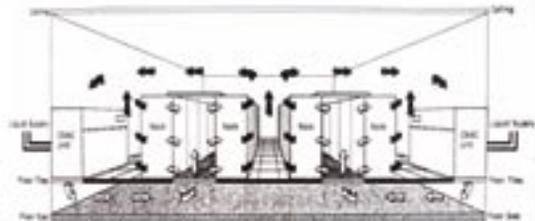


圖14 冷通道加蓋系統的空氣循環

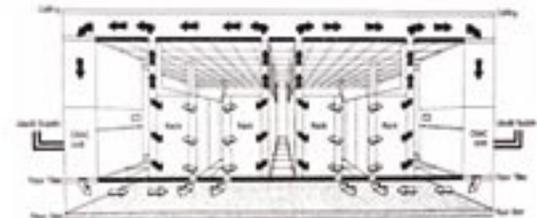


圖15 冷熱空氣引導系統的空氣循環

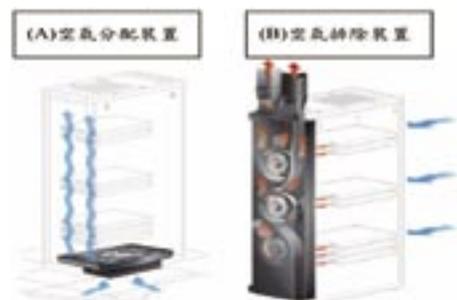


圖16 冷熱空氣引導裝置 [APC]

一些簡單的分配元件，可以將冷熱通道的觀念充分的活用，範圍與方式都可依實際需要而改變，甚至由「通道」演變成「區

域」；區域型分配系統種類繁多，較常見的有天花板鑲嵌式與機櫃上方吊掛式，天花板鑲嵌式主要裝置在冷通道上方，分配器下方吹出冷空氣直接進入冷通道，機櫃後端排出的熱空氣經由熱通道上升，最後被吸入分配器前後端的回風口，形成一次完整的出回風循環，如圖17所示；機櫃上方吊掛式主要是裝設在電腦機櫃上方，分配器前端面對冷通道，冷空氣由前端開口吹出進入冷通道，機櫃排出之熱空氣上升後，被吸回分配器內完成一次氣流循環，空氣循環路徑較短，如圖18所示，此種區域型分配系統必須全區域使用才能營造冷熱區域的架構，若單單設置一部分配器則無法發揮效用。

五、結語

由近年來相關的電腦機房空調環境研究發現，若能有效改善電腦機房的氣流混合情形，甚而提高電腦機櫃吸入口端之空氣溫度至美國冷凍空調工程師協會建議的電腦機房空調條件範圍內，便可因調高空調主機的冰水溫度而達到電腦機房氣流節能的效果，降低電腦機房的冷熱氣流混合情形實為現階段節能改善之首要工作，以下針對既有電腦機房、即將建置之電腦機房提供幾項建議，期分享予相關領域同業參考研究之用。

(一)對既有電腦機房建議

- 1.調整機櫃入風口端溫度至20~25°C範圍內，如表1所示。
- 2.調整出回風板塊排放位置，出風口位於冷通道，回風口位於熱通道，並使熱源分散平均，避免局部熱點產生，如圖10所示
- 3.使用機櫃前端盲板，避免機櫃內部熱空氣短循環，如圖11所示。
- 4.應用電腦機房氣流節能設備，如圖16~18所示。

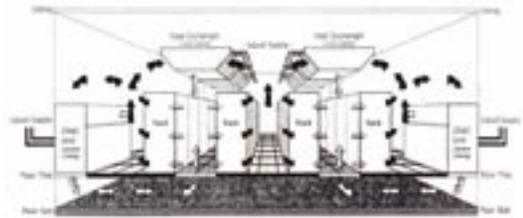


圖17 天花板鑲嵌式分配器安裝位置

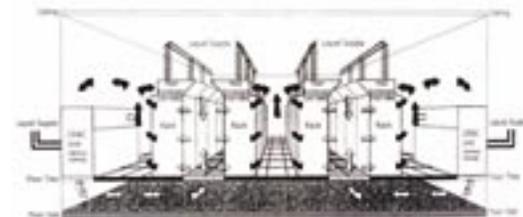


圖18 機櫃上方吊掛式分配器安裝位置

(二)對即將建置之電腦機房建議

- 1.IT設備的不斷電系統或備援系統，不宜使用過量設計，建議採用模組化容量設計，依實際需求增減系統容量。
- 2.電腦機房的空調溫濕度需求與人員作業區域差異頗大，應區分為各自獨立的空調系統。
- 3.中央空調系統可採用除濕盤管預冷方式設計。
- 4.冷熱通道建置明確，如圖2所示，應用方式如圖12~15所示。
- 5.冷熱通道間距應間隔七個板塊，如圖4所示。
- 6.於下吹式高架地板空調系統中，空調箱應擺放於熱通道兩端，如圖8所示。
- 7.設定機櫃入風口端溫度至20~25°C範圍內，如表1所示。∞

參考文獻

- 3.ASHRAE, Datacom Equipment Power Trends and Cooling Applications, U.S.A., 2005.
- 4.Don Beaty and Tom Davidson, "New Guideline for Data Center Cooling," ASHRAE Journal, pg. 28, Dec. 2003.
- 5.Don Beaty, "Cooling Data Centers with Raised-Floor Plenums," HPAC Engineering, pg. 58, Sep. 2005.
- 6.經濟部能源委員會，節約能源技術手冊，民77。
- 7.財團法人台灣綠色生產力基金會，空調系統管理與節能手冊，民94。
- 8.吳建德，「電腦機房空調氣流分析與節能潛力評估」，國立台北科技大學碩士論文，民98。

**專題** 報導

太陽光電系統之技術 與應用簡介

▶ 專案六部 楊顯整

一、前言

由於化石燃料的枯竭、能源價格日益高漲以及全球氣候變遷的議題，再生能源的應用受到全球的重視，例如太陽能、風力、海洋能、生質能、水力等能源。日本電力中央研究所曾進行其國內各種發電技術的二氧化碳排放評估，所評估的發電技術包括：煤碳火力發電、燃油火力發電、液化天然氣火力發電、液化天然氣複循環火力發電、太陽光電、風力、地熱以及核能等發電技術，評估內容包括發電設備製造以及運轉時之二氧化碳排放量，其研究報告指出火力發電之二氧化碳排放量均相當高，考量設備製造與運轉之二氧化碳排放量，煤碳、燃油、液化天然氣、以及液化天然氣複循環火力發電每生產一度電之二氧化碳排放量分別為0.99 kg、0.733 kg、0.653 kg以及0.509 kg。相較於化石燃料的火力發電，再生能源與核能發電過程中並不會產生二氧化碳的淨排放量，僅於設備製造時會有二氧化碳排放，考量其設備使用年限後，再生能源及核能每生產1度電的二氧化碳排放量均相當低，分別為太陽光電0.059 kg/kWh、風力發電0.037 kg/kWh、

地熱發電0.022 kg/kWh以及核能發電0.011 kg/kWh。其中，核能發電的二氧化碳排放量雖低，但卻有環境保護以及環境安全上的疑慮，為減少能源使用之二氧化碳排放，世界各國紛紛都將焦點轉移到再生能源技術之發展。地球上各種再生能源之中，太陽能應用潛力為600 TW(兆瓦)、風能2-4 TW、海洋能2 TW、生質能5-7 TW、水力則為4.6 TW，由此可知太陽能為各種再生能源中應用潛力最高者，太陽每天照射到地表的能量，超過全人類27-30年的能源需求。

我國能源進口依存度超過97%，且幾乎都為石油、煤碳等化石能源，為使能源應用朝向多元化、提高能源安全度並降低溫室氣體排放，政府亦積極發展再生能源。考量各種再生能源應用之環保、安全、技術成熟度、環境限制及攜帶性等面向，各種再生能源之環保面向與安全面向皆沒有問題，但其中生質能之技術成熟度尚且不足有待進一步的發展，而風力、水力、海洋能則在地理環境上有很大的限制，且不易攜帶，因此相對來說太陽光電的應用具有很大的優勢，尤其是在人口稠密的都會地區。

二、太陽光電的發電特性與原理

太陽電池(solar cell)是以p-型及n-型半導體材料接合構成正負極的光電元件，當太陽電池經陽光照射後會吸收太陽光能而產生電子及電洞，正電荷(電洞)與負電荷(電子)會分別往正(p-型)、負極(n-型)方向移動，產生直流電流。這種光電元件能把光能轉換成電能，因此亦被稱為光伏電池(photovoltaic，簡稱PV)。由於太陽電池僅將光能轉換成電能，本身並不儲存能量，因此太陽電池並非真正的電池(battery)。由於太陽電池產生的電力是直流電，因此必須經過直/交流轉換器將直流電轉變成交流電，並且經升壓之後才能供電至家庭或工業用電。

有關太陽電池的特性與優點如下：

- 1.發電時不需要燃料，不會產生廢棄物或污染。
- 2.無轉動組件與噪音。
- 3.太陽電池壽命長久，妥善保養的情形下理論上可使用20年。
- 4.外型尺寸可依照需要而作變化，應用廣泛。
- 5.發電量隨日光強度變化，可以輔助尖峰電力之不足(併聯型)。
- 6.安裝在頂樓時可以增進頂樓隔熱效果，進而降低空調負荷。

三、太陽電池的種類與太陽光電系統分類

太陽電池依照其製造材質可大致分為矽材料、多元化合物、奈米或有機材料等3大類。矽材料的太陽電池主要包括晶矽與非晶矽薄膜。其中，晶矽材料又分為單晶矽與多晶矽兩種，前者光電轉換效率較高(模組效率約15%)，但製程較複雜，後者效率較低(模組效率約13%)，但製程較簡單。非晶

矽薄膜則有矽需求量較低、製作成本低、可撓式設計、大面積製作等優點，但其轉換效率相對較低(模組效率約5-7%)。在多元化合物材料部份，包括III、V族化合物(GaAs、InP)等高效率的太陽電池，主要用於太空或聚光型太陽光電系統。另外亦有CdS、CdTe或CIGS(銅銦鎵硒)等薄膜型太陽電池正持續發展，已有部份商品生產並改良中。奈米或有機材料的太陽電池包括：染料敏化太陽電池以及有機高分子太陽電池。前者利用奈米技術製造二氧化鈦奈米顆粒再吸附染料，藉由染料吸光放出電子而產生電流。後者則利用導電高分子特性來製作太陽薄膜電池，其技術正在發展中。目前，奈米或有機材料的太陽電池效率及穩定性仍然偏低，有待提升。

太陽光電系統主要是由太陽電池組列、電力調節器(包括直/交流轉換器、系統控制器及併聯保護裝置等)、配線箱、蓄電池等所構成，如圖1所示。其中，太陽電池組列是由太陽電池單元先組成模板，再由多個模板組成組列。若依照建築物設置系統型式分類，則太陽光電系統可以分為踞置型及建材一體型。踞置型：依其架設方式又可分为貼覆式以及架高式兩種。貼覆式係指太陽光電模板貼覆建築物外表包覆材架設，太陽光電模板與建築物之間的高度間距在10公分以內。架高式是指太陽光電模板矗立建築物平頂或地面架設，太陽光電模板的高度在150公分以下。而建材一體型的太陽電池模板則是太陽電池模組或陣列被整合、設計並裝置在建築物上。可有效利用建築物的表面發電，兼具建築物的外表包覆建材之功能，或可替代屋瓦、牆面、窗戶之建材，且可遮陽降低建築物外表溫度。BIPV具有建築物美觀、降低整體建築成本、空間充分利用、結

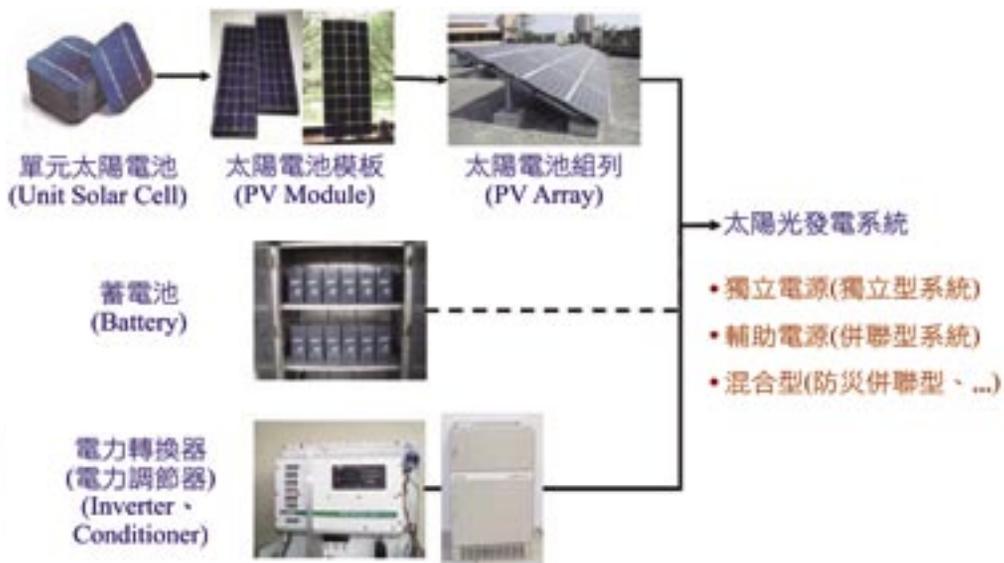


圖1 太陽光電系統的組成

構安全性、建築施工時間縮短及避免二次施工等優點。

四、太陽光電設置條件及成本

影響太陽光電系統效率的環境因素包括陽光入射角度、光譜、日照量、遮蔭情況、模板溫度等。因而適合設置太陽光電系統的地點應為日照充足，且東、西、南面無建築物遮蔽的地點。其他影響系統設置因素尚包括落塵、鳥糞、腐蝕性化學物質、建築結構強度、以及電器設備的情況等。空曠無遮蔽的大樓頂樓、南向無遮蔽的斜屋頂都是可以考慮的設置地點。一般來說太陽光電之裝設地點應避免周圍建築物遮蔽，電池模板宜面向南方，傾斜角度約為 $22-25 \pm 10$ 度。

太陽電池之設置容量單位為峰瓦(kWp)，1 峰瓦的設置容量是指在 25°C 、 $1,000 \text{ W/m}^2$ 的日光強度、光譜為AM 1.5的照射，可輸出1瓦電力之太陽電池容量。而目前1 峰瓦的太陽電池組列的裝設，平均占地面積約為10-15平方公尺(單晶矽約7-9平方公尺，矽薄膜約16-20平方公尺)。以台北地區來說，

1 峰瓦的太陽光電系統平均1天約可以產生2.5度的電力，1年約900度電。中南部地區由於日照充足，1 峰瓦的太陽光電系統平均1天約可以產生3.5度的電力，1年約1300度電。

政府為推廣國內再生能源之使用與發展而制訂再生能源發展條例。依據再生能源發展條例第9條第1項之規定，目前政府對於太陽光電所產生的電力依照所訂定的躉購費率由電力業者進行收購。太陽光電之躉購費率，自98年7月10日起至99年12月31日止與電業簽訂購售電契約之太陽光電系統設置者，其設備於98年7月10日以前未運轉且未曾與電業簽訂購售電契約，其電能按表1之費率躉購20年。惟太陽光電系統有符合下列情形之一，依其規定辦理：(1)設備曾獲經濟部能源局依據「太陽光電發電系統設置補助作業要點」提供設備補助者，其電能按附表2躉購20年。(2)設備曾獲經濟部能源局提供全額設備補助者，其電能按每度2.0615元之費率躉購20年。以目前每1 峰瓦太陽光電



系統15萬元的設置費用進行計算，若新設置一個20 峰瓩的太陽光電系統，在北部其系統回收年限約為12.9年，中南部則約為8.9年。

五、結語

近幾年來我國太陽光電技術與展業均發展迅速，每1 峰瓩設備已由30萬元下降至約15萬元，國內之設置容量也成長快速。以台北市為例，96年通過能源局補助之申請容量為14.1 峰瓩，97年為410.4 峰瓩，98年則增

加到942.722 峰瓩。未來，藉著國內成熟的半導體與光電產業的技術發展，若太陽光電系統之模板效率能增加、成本可以再繼續下降，則太陽光電技術將成為新能源的一個好選擇，可用以替代部份尖峰之用電，特別是都會地區。☺

參考文獻

1. 太陽光電資訊網。
2. 呂宗昕，全面進攻奈米科技與太陽電池，天下文化。

表1 未曾獲補助之太陽光電系統躉購費率

設置容量(峰瓩)	補助額(萬元/峰瓩)	躉購費率(元/度)
1-10	5	11.1883
10-500	0	12.9722
>500	0	11.119

表2 曾獲補助之太陽光電系統躉購費率

獲補助金額	再生能源類別	電能躉購費率(元/度)
12萬元	1峰瓩以上至10峰瓩太陽光電	5.9758
	10峰瓩以上至500峰瓩太陽光電	4.4684
	500峰瓩以上太陽光電	2.7555
11萬元	1峰瓩以上至10峰瓩太陽光電	6.6026
	10峰瓩以上至500峰瓩太陽光電	5.0952
	500峰瓩以上太陽光電	3.3823
10萬元	1峰瓩以上至10峰瓩太陽光電	7.2294
	10峰瓩以上至500峰瓩太陽光電	5.7221
	500峰瓩以上太陽光電	4.0092
9萬元	1峰瓩以上至10峰瓩太陽光電	7.8563
	10峰瓩以上至500峰瓩太陽光電	6.3489
	500峰瓩以上太陽光電	4.6360
8萬元	1峰瓩以上至10峰瓩太陽光電	8.4831
	10峰瓩以上至500峰瓩太陽光電	6.9757
	500峰瓩以上太陽光電	5.2628
7萬元	1峰瓩以上至10峰瓩太陽光電	9.1099
	10峰瓩以上至500峰瓩太陽光電	7.6026
	500峰瓩以上太陽光電	5.8897



專題
報導

電弧爐爐渣資源化歷程

▶ 專案三部 蘇茂豐

一、前言

電弧爐煉鋼廠在冶煉的過程中會產生大量的爐渣，在電爐渣中，碳鋼的製造流程較短，其煉鋼爐渣的產量約為鋼鐵產量的15%；不銹鋼的製造流程較長，其煉鋼爐渣的總產量約為鋼鐵產量的25~30%。民國91年以前煉鋼爐渣再利用法令及技術尚未成

熟，大多數爐渣皆以掩埋方式處理。但經過多年的研究，發現爐渣只要經過適當的處理，即可應用在許多方面：如水泥、道路、混凝土、農業等工程材料。在先進國家如德國、日本於2007年其電爐渣利用率已高達85%以上，如表1所示。

表1 鋼鐵先進國家在煉鋼爐渣資源化近況統計

資源化用途	資源化數量之分佈(%)					
	歐盟 EUROSLAG (2007)	日本SLG(2008)		德國FEhS (2006)	美國NSA (2007)	澳洲及紐西蘭 ASA(2008)
		電爐渣	轉爐渣			
廠內回收(包括渣、殘銑及殘鋼)	4	2.3	15.2	13.4	—	—
工程材料	道路石料	45	35.4	19.8	43.9	51.3
	瀝青混凝土骨材					14.4
	鐵道渣		—	—		2.3
	地基改良		4.3	5.5	4.4	13.3
	土木工事		34.5	47.4	18.8	
	混凝土骨材		1.6	3.5	—	—
港灣/堤岸工程	2	—	—	3.7	—	—
製造原料	水泥原料	37	0.9	5.6	—	6.7
	加工用原料		9.8	0.2	—	—
肥料/土壤改良	2	2.7	1.1	4.8	—	—
其他(下游販售殘銑等)	—			—	—	—
掩埋/棄置	7	8.4	1.6	10.2	—	—
堆存	3	—	—	0.8	12	20
合計	100	99.9	99.9	100	100	100
總量(萬噸)	4,550	526	1,076	584	780	340

註：資料來源：日本爐渣協會(SLG)、美國爐渣協會(NSA)、德國鋼鐵爐渣研究協會(FEhS)、澳亞爐渣協會(ASA)及歐洲爐渣協會(EUROSLAG)。

表2 全國25廠電弧爐爐渣之化學成份平均分析表(%)

批次	SiO ₂	R ₂ O ₃			CaO	MgO	MnO	TiO ₂	SO ₃	S	T-Fe	f-CaO	有效鹼	Cr ₂ O ₃	NiO
		Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	其它									Na ₂ O+0.658 K ₂ O		
25廠 2次平均值	23.86	6.34	22.91	8.06	24.91	8.61	2.37	0.27	0.02	0.07	16.65	0.028	0.036	3.73	0.01

表3 全國25廠電弧爐爐渣之重金屬總量分析統計比較表(單位：mg/kg)

項目	總As	總Cd	總Cr	總Cu	總Hg	總Ni	總Pb	總Zn
25廠2次平均值	2.39	N. D.	7,553	37.13	0.86	51.24	6.64	191.7
文獻資料	5.3	0.45	7,760	166	<0.41	45	21.5	244
台灣地區背景濃度範圍*	1.80~16.6	N. D. ~0.42	20.5~170	11.1~92.6	0.01~1.39	0.90~72.3	17.2~84.8	40.7~159

註：1. 行政院國科會工程科技推廣中心，「鋼鐵工業爐渣資源化再利用實務研討會」論文集，91年10月。

2. “N. D.”表示低於方法偵測極限值(MDL)。

3. *陳尊賢等，台灣地區各主要土類中重金屬之等級劃分，1992。

二、電弧爐爐渣之環境風險評估

經濟部工業局自民國86至89年進行「電弧爐煉鋼爐渣資源化技術合作開發與推廣計畫」(以下簡稱本計畫)已獲相當具體成果，茲將電弧爐渣之環境風險評估概述如后：

為了解電弧爐爐渣之環境風險，首先必須知道電弧爐爐渣之元素組成，以了解潛在之危害物質。而為探討電弧爐爐渣污染物在環境中的溶出特性，遂參考行政院環保署(1990)之毒性特性溶出試驗(TCLP)為試驗法，以模擬掩埋場之溶出情形。另外為考量農作物吸收土壤中重金屬之生物有效性，採用0.1N HCl萃取法檢驗，用以分析爐渣是否會造成鄰近土壤背景值升高之環境風險。又為探討爐渣鋪面遭受洪水侵襲，或多雨地區當道路基底層積水無法於短時間內消退時，爐渣骨材長期浸泡水中之水質變化及重金屬溶出量。而為確認電弧爐渣中戴奧辛含量之危害風險，進行戴奧辛含量(NIEA M801.10B)分析。最後為確認電弧爐渣再利用於建築材料是否有無輻射之風險，乃依行政院原子能委員會「建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點」進行評估。經過上述對電弧爐渣之環境風險評估結果，發現電弧爐渣均低於相關環境檢測標準值，是一項有用的資源，得以進行資源化再利

用，相關試驗結果敘述如后。

(一)電弧爐渣元素組成

電弧爐煉鋼係利用在高電壓情況下，電流通過人造石墨電極與廢鐵時，產生高溫電弧(1600。C以上)來溶解廢鋼，以達成冶煉鋼鐵之目的。為符合產品規格之要求，於冶煉過程中，加入少量矽鐵、錳鐵、焦炭、生石灰與脫硫劑等副料，這些材料在高溫時形成爐渣，因此爐渣所含之成份，有一部份類似水泥所需之原料。本計畫是根據中國國家標準CNS 12223試驗方法，分析全國25家鋼鐵廠之電弧爐渣主要化學成分及重金屬含量，2次結果如表2及表3所示。由表2可知，電弧爐渣化學成分主要為SiO₂、CaO、Fe₂O₃、Al₂O₃及MgO為主，而在重金屬元素方面，與文獻資料差異不大，但顯示其與台灣地區各主要土壤中重金屬之背景濃度比較時，雖Cr重金屬含量遠大於其背景濃度外，其它各類重金屬含量接近或介於其背景濃度範圍。但因Cr易與Fe、Al形成鉻鋁鐵礦【Fe(Cr,Al)₂O₄】(如圖1所示)，且二價金屬氧化物(RO)易形成連續固溶體，被包覆於橄欖石、薔薇輝石等之內，故非常安定。圖中C點表示屬三價鉻之固溶體的鉻鋁鐵礦【Fe(Cr,Al)₂O₄】結晶，W點為氧化鐵(FeO)固溶體，Sg點為矽酸鈣之結晶相，屬活性材

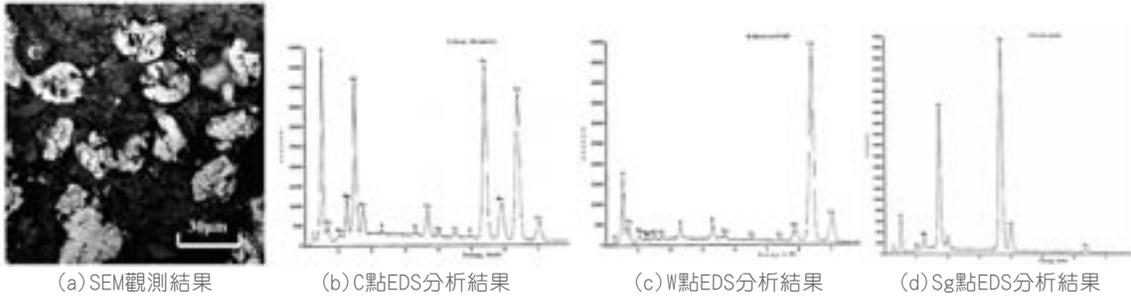


圖1 電弧爐爐渣之SEM/EDS微觀分析

料。

(二)電弧爐爐渣之溶出試驗(TCLP)

本計畫為探討爐渣中污染物質在環境中的溶出特性，並評估其作為道路級配料或填築材料進行填地時有無二次公害之虞，遂參考行政院環保署公告(1990)之毒性特性溶出試驗(TCLP)為試驗法，以模擬掩埋場之溶出情形。全國25廠電弧爐爐渣經過採樣並進行毒性特性溶出試驗(TCLP)結果如表4所示，由表中可看出各種有害重金屬成分之溶出結果，依據目前環保法規，皆遠低於有害事業廢棄物法規標準以下，故可被視為一般事業廢棄物，因此以爐渣來當道路級配料應用時，對環境將不致造成影響。而pH值介於9.32~11.1之間，故對於環境土壤偏酸性的台灣而言，妥善規劃應用並避免大面積填築及限制離地下水層1m以上使用，應不致對週遭環境造成危害。

(三)電弧爐爐渣對生物有效性試驗(0.1N HCl 萃取法)

為使土壤重金屬調查結果分析有據，環保署曾委託學術研究並參考農作物生長良好與否之研究資料，訂定「台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表」，同時考量農作物吸收土壤中重金屬之生物有效性，採

用0.1N HCl萃取法檢驗，但其中砷、汞兩項元素因生物有效性萃取效果不佳，而採用全量方法檢驗。而本計畫試驗分析即採用此方法，又因為爐渣中富含無機鹽類，將來當道路級配料應用時，可能會使鄰近的土壤背景值升高，因此將全國25廠電弧爐爐渣可萃取之重金屬含量與行政院環保署針對台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表進行比較，其採樣分析結果皆小於或介於第三級(土壤中重金屬含量為環境背景值者)。但與陳尊賢「台灣地區各主要土類中重金屬之等級劃分(1992)」中之台灣地區背景濃度範圍比較，均介於其範圍之內，因此以煉鋼爐渣來當道路級配料使用時，不致影響鄰近自然土壤的重金屬含量。

(四)電弧爐爐渣之浸水試驗(雨水)

本計畫試驗係模擬爐渣鋪面遭受洪水侵襲，或多雨地區當道路基底層積水無法於短時間內消退時，爐渣骨材長期浸泡水中之水質變化及重金屬溶出量。爐渣浸泡10天、30天及60天後檢測水樣，將爐渣長期泡水後進行水質分析，綜合酸鹼值、硬度分析、導電度分析、氯鹽含量分析、鐵及錳含量分析、重金屬檢測等等檢驗分析結果，就水污染觀點而言，爐渣浸出水可符合國家放流水標

表4 全國25廠電弧爐爐渣之毒性溶出試驗(TCLP)結果

項目	pH	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)
25廠平均值	10.31	N. D.	0.15	N. D.	N. D.	N. D.	0.0037	0.0076	0.02
法規標準	2~12.5	<15.0mg/L	<25.0mg/L	<5.0mg/L	<1.0mg/L	<5.0mg/L	<5.0mg/L	<0.2mg/L	<2.5mg/L
備註(mg/L)		MDL=0.029	MDL=0.012	MDL=0.059	MDL=0.011	MDL=0.022	MDL=0.0005	MDL=0.0005	MDL=0.010

註：1. “ND”表示低於方法偵測極限值(MDL)。



準，故煉鋼爐渣充當土木工程材料不會對環境造成二次污染。

(五)電弧爐爐渣之戴奧辛含量試驗

依行政院環保署有害事業廢棄物認定標準第四條第一項第三款之規定戴奧辛有害事業廢棄物係指事業廢棄物中含2,3,7,8-氯化戴奧辛及呋喃同源物等十七種化合物之總毒性當量濃度超過1.0 ng I-TEQ/g者。因此有鑒於戴奧辛為世紀之毒，所以工業局於94年進一步要求計畫團隊採取北中南共四家鋼鐵廠進行電弧爐爐渣戴奧辛含量試驗，並委託正修科技大學超微量金屬研究科技中心進行分析，分析結果詳如表5所示。由表5顯示此4家電弧爐爐渣之戴奧辛含量介於0.0004~0.015 ng I-TEQ/g，遠低於有害廢棄物認定標準，因此電弧爐爐渣之戴奧辛含量極低，並不會對環境造成二次污染。

(六)電弧爐爐渣之輻射試驗

電弧爐煉鋼係利用廢鐵、廢鋼為原料，在原料進廠前均須經過廠區設置之輻射偵檢設備檢測後方可進廠，因此煉鋼之原料理論上已無輻射之問題，所以又經過高溫電弧(1600℃以上)來熔解廢鋼，以達成冶煉鋼鐵之目的而產生之爐渣理論上應該也無輻射之問題。但依行政院原子能委員會88年4月19

日頒布之建築材料用事業廢棄物放射性含量限制要點，規定用於建築材料者輻射劑量極限值為0.2微西弗/小時，用於公路、橋樑者輻射劑量極限值為0.4微西弗/小時，因此本計畫將爐渣分三批次檢測其輻射劑量平均為0.11微西弗/小時(背景值為0.08微西弗/小時)，幾可認定為無輻射材料，因此爐渣確可充當骨材或道路級配使用而無輻射之虞。

三、結論

由國外文獻資料得知，爐渣是可以再利用於工程材料的資源，美國爐渣協會進行一系列的風險評估證實爐渣為一安全且有價之材料。經過這幾年經濟部工業局的推動及學術的研究，以及上述環境風險評估，於國內已經廣泛應用於道路工程級配粒料、瀝青混凝土粒料、混凝土粒料、透水性混凝土磚、CLSM材料等，甚至國內某公司已經將爐渣申請通過為綠建材標章。因此如何將被視同“廢棄物”的工業副產品，在全球節能減碳的風潮下，如何推動成為工業用材料，實應是政府單位及業者均應該予以充分重視及努力的方向，期能以此研究計畫成果提供未來對於廢棄物資源化再利用推廣應用之參考。♻️

表5 電弧爐爐渣戴奧辛含量試驗結果

檢驗項目	檢驗值	樣品名稱	檢測值	單位	公告標準	檢驗方法
戴奧辛/呋喃	1		0.0004	ng-TEQ(WHO-TEF)/g-d.w	1.0 ng I-TEQ/g	NIEA M801.10B
			0.0004	ng-TEQ(I-TEF)/g-d.w		
	2		0.015	ng-TEQ(WHO-TEF)/g-d.w		
			0.014	ng-TEQ(I-TEF)/g-d.w		
	3		0.010	ng-TEQ(WHO-TEF)/g-d.w		
			0.009	ng-TEQ(I-TEF)/g-d.w		
	4		0.015	ng-TEQ(WHO-TEF)/g-d.w		
			0.013	ng-TEQ(I-TEF)/g-d.w		
	5*		0.001	ng-TEQ(WHO-TEF)/g-d.w		
			0.001	ng-TEQ(I-TEF)/g-d.w		
	6**		0.067	ng-TEQ(WHO-TEF)/g-d.w		
			0.054	ng-TEQ(I-TEF)/g-d.w		

註：*表示940720BK(方法空白)；**940720ST(空白添加待測物)。



論行政法上 「一行為」之處罰方式

▶ 董事長特別助理 顏秀慧

前於第四期介紹行政罰法時，曾提及在實體法上有一行為不二罰原則，亦稱禁止雙重處罰原則；另外在程序法上亦有一事不再理原則，兩者目前均已普遍被接受為現代民主法治國家之基本原則。

理論上，一行為二罰可包括兩種情形⁽¹⁾：第一種情形是一行為已受到處罰後，對同一行為再行處罰，亦即發生二次審理的問題；第二種情形是一行為同時受到多數處罰，此情形發生於一行為同時該當同一法律二種以上不同之處罰規定，或該當二種以上不同法律之處罰規定。

有關於處罰類型之競合，則可分為下列四種情形：一、行政罰與刑罰之競合，二、行政罰與行政罰之競合，三、行政罰與懲戒罰之競合，四、行政罰與行政強制執行之競合。後兩種情形因二者間處罰目的大不相同，故多採併罰方式。至於數行政罰間之競合以及刑事罰與行政罰之競合，其處理方式在行政罰法中也已有明文規定，分見

於第24條⁽²⁾及第26條⁽³⁾。基本上，行政罰法規定，當一行為違反數個行政法上義務規定而應處罰鍰時，係依法定罰鍰額最高之規定裁處，亦即在行政罰競合時，採從一重處罰之原則；而當一行為同時觸犯刑事法律及違反行政法上義務規定時，則依先刑事後行政之原則處理；若刑事部分經不起訴處分或為無罪、免訴、不受理、不付審理之裁判確定者，再依違反行政法上義務規定裁處之。

所謂之「一行為」，係指法律上之一行為，應依法律規範之構成要件而定，並不以自然意義上之一行為或單一舉動為限。例如，同一貨主將同一批走私貨品分藏多處，則雖查獲有先後之分但仍無礙於基於貨主之同一意思與行為，而將該私運行為認定為一行為⁽⁴⁾；但另一案例中，若污染行為人污染牆壁、電桿等土地定著物二處以上時，則雖該等污染行為有可能是基於同一動機、目的或概括意思，但仍應依受污染之定著物處數而定其行為個數⁽⁵⁾。

然而由於行政法各個法律之保護法益與立法目的並不相同，且數行為之間也可能存在牽連或連續之關係而難以分割，故違規行為之處罰方式是否一律從一重處罰而非併罰，仍有個案上之差異。基於保護法益與立法目的之不同，實務界及外國立法例均有持併罰主張者；而學界則多傾向持不得併罰之看法。多次行政秩序罰併罰產生爭議之原因，係由於這些處罰均同屬行政制裁性質，若逕以併罰方式進行，較容易產生違反比例原則之情形。

針對行政法上一行為之處罰方式產生爭議，而經大法官會議解釋處理之案例曾有數例，如釋字第337號解釋、第356號解釋、第503號解釋及第604號解釋等，其中牽涉稅捐相關法律中漏稅罰與行為罰併罰規定者為第337號解釋、第356號解釋、第503號解釋，第604號解釋則為道路交通管理處罰條例連續舉發之相關案例。

大法官會議釋字第503號解釋之解釋文中提及：「納稅義務人違反作為義務而被處行為罰，僅須其有違反作為義務之行為即應受處罰；而逃漏稅捐之被處漏稅罰者，則須具有處罰法定要件之漏稅事實方得為之。二者處罰目的及處罰要件雖不相同，惟其行為如同時符合行為罰及漏稅罰之處罰要件時，除

處罰之性質與種類不同，必須採用不同之處罰方法或手段，以達行政目的所必要者外，不得重複處罰，乃現代民主法治國家之基本原則。是違反作為義務之行為，同時構成漏稅行為之一部或係漏稅行為之方法而處罰種類相同者，如從其一重處罰已足達成行政目的時，即不得再就其他行為併予處罰，始符憲法保障人民權利之意旨。本院釋字第三五六號解釋，應予補充。」

明顯採一行為不二罰之原則在行政罰上亦有適用之看法。

在大法官會議釋字第604號解釋中，所牽涉之案例事實則是另一種行為態樣，亦即聲請人於違規停車後並未有移動車輛之舉動，而導致雖僅有一行為，但違規事實卻一直存在。一次之違規停車實為自然意義上之一行為，但該行為如未經外力介入(如拖吊)或行為人自行中止(移動車輛)，則單純之一行為將造成違規狀態之持續，對法益持續地產生損害，與持續發生之數行為實際上並無差異。

道路交通管理處罰條例條文中明定，對於汽車駕駛人違反同條例第五十六條第一項各款而為違規停車之行為時，得為連續認定及通知其違規事件之規定。對於此種立法方式，大法官會議係予以肯認，大法官會議





釋字第604號解釋文中提及：「道路交通管理處罰條例係為加強道路交通管理，維護交通秩序，確保交通安全而制定。依中華民國八十六年一月二十二日增訂公布第八十五條之一規定，係對於汽車駕駛人違反同條例第五十六條第一項各款而為違規停車之行為，得為連續認定及通知其違規事件之規定，乃立法者對於違規事實一直存在之行為，考量該違規事實之存在對公益或公共秩序確有影響，除使主管機關得以強制執行之方法及時除去該違規事實外，並得藉舉發其違規事實之次數，作為認定其違規行為之次數，從而對此多次違規行為得予以多次處罰，並不生一行為二罰之問題，故與法治國家一行為不二罰之原則，並無抵觸。」

然雖大法官會議認同此種作法係維護公益及公共秩序所必須，但對行政權與立法權之行使仍有以下之提示：「立法者固得以法律規定行政機關執法人員得以連續舉發及隨同多次處罰之遏阻作用以達成行政管制之目的，但仍須符合憲法第二十三條之比例原則及法律授權明確性原則。鑑於交通違規之動態與特性，則立法者欲藉連續舉發以警惕及遏阻違規行為人任由違規事實繼續存在者，得授權主管機關考量道路交通安全等相關因素，將連續舉發之條件及前後舉發之間隔及期間以命令為明確之規範。」

目前「違反道路管理事件統一裁罰標準及處理細則」第十二條第四項規定以「每逾二小時」為連續舉發之標準，每舉發一次，即認定有一次違反行政法上義務之行為發生，而有一次具可罰性之違規行為，擬以連續舉發之方式，對違規事實繼續之違規行為，藉舉發其違規事實之次數，評價及計算其法律上之違規次數，並予以多次處罰，

藉多次處罰之遏阻作用，以防制違規事實繼續發生。解釋文中亦提及，「衡諸人民可能因而受處罰之次數及可能因此負擔累計罰鍰之金額，相對於維護交通秩序、確保交通安全之重大公益而言，尚未逾越必要之程度。惟有有關連續舉發之授權，其目的與範圍仍以法律明定為宜。」

綜上所提及之行政法上一行為之處罰方式，似乎難以一言蔽之。原因在於層出不窮之行政處罰案例中，其態樣及事實均各有不同，除上述案例業經大法官會議確認其適用原則外，觀諸行政法院對於行政救濟案例中之併罰處理原則，目前仍非持全然肯定或全然否定之立場，還是必須依據個案事實，針對行為人所涉及與違反之相關法律立法目的、行為構成要件、保護法益進行考量，並參酌是否違反比例原則而認定之。🔄

參考文獻

- 1.詳細內容請參閱洪家殷，行政罰，收錄於翁岳生編，行政法，元照出版有限公司，民國95年，第644-645頁。
- 2.行政罰法第24條：
一行為違反數個行政法上義務規定而應處罰鍰者，依法定罰鍰額最高之規定裁處。但裁處之額度，不得低於各該規定之罰鍰最低額。
前項違反行政法上義務行為，除應處罰鍰外，另有沒入或其他種類行政罰之處罰者，得依該規定併為裁處。但其處罰種類相同，如從一重處罰已足以達成行政目的者，不得重複裁處。
一行為違反社會秩序維護法及其他行政法上義務規定而應受處罰，如已裁處拘留者，不再受罰鍰之處罰。
- 3.行政罰法第26條：
一行為同時觸犯刑事法律及違反行政法上義務規定者，依刑事法律處罰之。但其行為應處以其他種類行政罰或得沒入之物而未經法院宣告沒收者，亦得裁處之。
前項行為如經不起訴處分或為無罪、免訴、不受理、不付審理之裁判確定者，得依違反行政法上義務規定裁處之。
- 4.詳細內容請參閱陳敏，行政法總論，作者自版，民國92年，第707頁。
- 5.詳細內容請參閱陳敏，行政法總論，作者自版，民國92年，第710頁。

快樂
園地

燃燒的靈魂·天才的悲劇

— 梵谷



▶ 專案五部 忻珮雯

文森威廉梵谷 Vincent van Gogh (1853 ~ 1890)，是荷蘭後印象派畫家是表現主義的先驅，是20世紀到21世紀全球最熱門的藝術家之一。梵谷的作品，如「星夜」、「向日葵」與「有烏鴉的麥田」等，現已擠身於全球最具名、廣為人知與昂貴的藝術作品行列。生前只賣出一幅畫的他，只有短短37年生命，10年繪畫創作時間的謎題，成了科學家、藝術學者和精神科醫師，極欲解開的謎，因為他的一生充滿了傳奇性色彩。如今梵谷的素描與油畫在歷史博物館展出，在此就讓我們探究並認識這位天才的瘋狂藝術家。

◎傳道的熱情與救贖

梵谷的早期生活，經歷了短暫的教職生涯，投身於從事藝術品商人的工作，也對宗教傳道產生熱情，但是傳道的熱情，卻無法讓世間受苦的人得到救贖。他察覺到組織化的宗教，與被服侍者之間的虛偽距離，因此梵谷失去上帝也失去自己，梵谷成天在礦區

有如遊魂閒晃，他深諳人間疾苦，成了貧困的傳教採礦工人。在這期間也描繪工人的勞苦景象，深刻的疾苦影響，讓梵谷對勞動者產生悲憫，成為他畫作撫慰心靈的力量，他以畫筆傳道，用藝術救贖自我與人心。

◎素描與複合媒材

素描是一切的基礎，這是每位繪畫人都了解的，當然梵谷也深信不疑。因此他下了很大的功夫磨練他的素描。也因為接觸印刷的緣故，梵谷在素描內運用許多非傳統的媒材，例如：富含油性的石板畫蠟筆，本是畫在石板上利用油水分離的原理，他卻把印刷油墨直接稀釋拿來作畫；將松節油稀釋後有深黑色的效果，摻上鋅白油畫顏料，會有美好的灰色調等，這是其他材料做不到的。

梵谷的素描讓我們看見，百餘年前的藝術家，竟然有如此前衛的企圖心。如用木匠鉛筆(未加工的黑鉛塊)、烏賊墨、鐵鞣酸墨、蘆葦沾水筆、碳筆、色粉筆、石板用蠟筆、不透明水彩、毛筆、印刷油墨、油彩



等，研究媒材的多元可能性。

此次特展中，展出梵谷所繪人物素描等，以及海牙時期所創作的「母與子」系列作品，對親情之愛的描繪，極其傳神細膩，以及素描與複合媒材的結合。

◎油畫的畫法

梵谷的油畫有許多不同的表現技法，我們如能深入了解就更能品味其中的奧妙。

- 1.透明畫法：透明畫法可以發揮油彩光潤特性。
- 2.刮擦法：刮擦法是將油畫放置一年，等到油質蒸發之後，再以刮刀迅速刮擦表面，留下堅實的顏彩。梵谷說：「昔日大師和今日法國畫家都採用此種刮擦法」。
- 3.厚塗法：梵谷採用此種畫法，最重要的是受到法國印象派畫家蒙提且利的影響。

梵谷的油畫，經常將油彩擠出來直接厚塗在畫布上，通常用松節油稀釋、亞麻仁油增添光澤與黏性。

◎研究梵谷的病與死

我們從梵谷寫給弟弟西奧的大量書信中，可得知他健康很早就出現警訊，與梵谷最親密的弟弟西奧也說，哥哥生病期間性格多變，像兩面人，一面溫柔又高尚，一面卻是極端自我本位者。這兩面性格輪流作祟，使自己生活難過，別人也難過。1881年在海牙時，梵谷就常陷入憂鬱容易激動，生理與精神都極度敏感緊張，梵谷自認三餐不繼、工作過勞，後來導致他沮喪、焦慮不安而崩潰。

1888年底在法國阿爾爆「割耳事件」，德國漢堡大學藝術史學者一考夫曼Hans Kaufmann推論梵谷的左耳，其實是高更揮刀誤傷的；也有科學家指出，梵谷名作「星夜」裡、滿天漩渦狀的星光，並非起因於他的瘋狂，而是因為得了一種叫做「梅尼爾氏

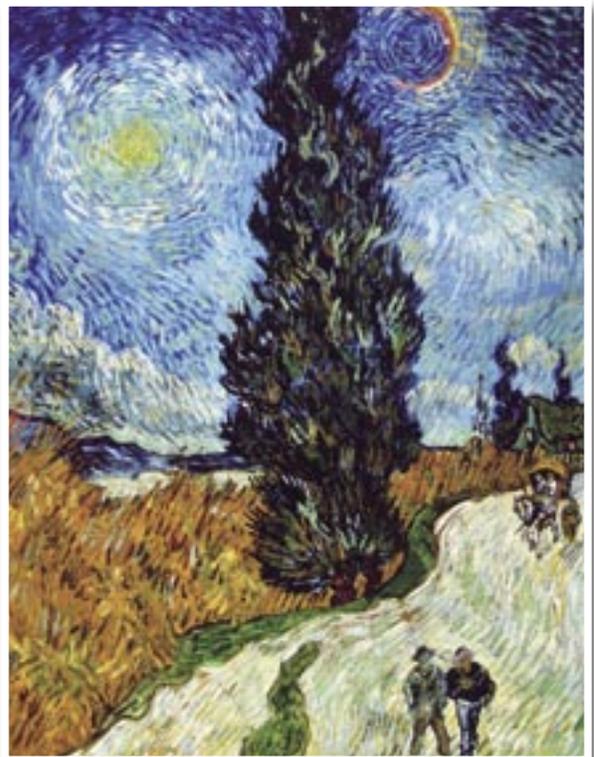
症」產生暈眩後所見的景象。

研究梵谷生平的專家Teio Meedendorp分析，梵谷之所以給人瘋狂的印象，是因為遺傳了家族宿疾：癲癇，這個定期發作的痼疾深深影響他的情緒，使他易怒、易沮喪，也導致他有短期失憶症。加上他吃得差、營養不良，卻又愛喝高酒精濃度的苦艾酒(苦艾酒易造成躁鬱症)、酗咖啡、抽廉價菸草等刺激性食品，更加重他情緒暴起暴落。

◎繪畫的生命

梵谷生前的最後十年間(27~37歲)，創作了超過二千幅畫，包括約900幅油畫與1100幅素描。梵谷早期只以灰暗色系進行創作，直到他在巴黎遇見了印象派與新印象派。梵谷融入了他們的鮮豔色彩與畫風，創造了他獨特的個人畫風，在梵谷待在法國亞爾的那段時間，發展已成熟。

他最著名的作品多半是在他生前最後二



普羅旺斯夜間的鄉村路(1890年)

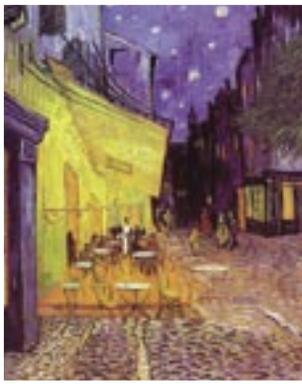
年創作的，期間梵谷深陷於精神疾病中，最後在他37歲那年走向自殺一途。梵谷一生中的核心人物是他的弟弟西奧，其從不間斷、無私的提供梵谷經濟資助。他們終身的親情可於他們在往來的多封書信間查證。

◎在法國的創作

梵谷人生最後一年，畫了近130幅畫，1889年5月，梵谷住進聖雷米精神療養院，剛開始只能由病房的鐵窗中窺看風景，後來才獲准在有人監視陪同下出外寫生，透過禁閉幽居的鐵窗，他可以看到遠方的麥田與天空，療養院中庭生機盎然的美麗花園，讓他印象深刻，最先畫的代表作就是「鳶尾花」。

分析「鳶尾花」的作品我們可以看到，鳶尾花的枝葉充滿生命的張力，靛紫色彩的花朵跳躍枝頭、娉婷婀娜，看那嬌嫩的花瓣筆觸充滿情感與力量，藍色花朵代表的是梵谷對友情與愛情的渴望，渴望的背後代表的是靈魂的孤寂。

梵谷的畫作生動且活力十足的原因就是筆觸的變化，以色彩結合線條，筆觸代表輪廓的勾勒，採用快速動態的筆觸、厚重的顏料讓多變的色彩更為和諧，層次變化也更加微妙豐富。



星空下的咖啡館(1888年)



餐廳內(1887年)

「普羅旺斯夜間的鄉村路-絲柏系列」是梵谷繼向日葵系列之後，最重要的創作系列，為他的藝術生涯再創高峰。「普羅旺斯夜間的鄉村路」是梵谷聖雷米時期最後一幅畫。在一封信中，梵谷稱這幅畫是他的「最後一次嘗試」，並且描述畫中細節：「夜空中，一彎細細的新月，從大地投射的濃密黑影中露出來，星星的亮光很誇張，雲彩飄飛的天青色空中，有粉紅色及綠色的柔光。」雖然梵谷說他畫的是「普羅旺斯的回憶」，但實際上畫中的景色並不存在於現實，低矮茅屋是梵谷出生地：荷蘭北布拉邦特省的典型房舍，此畫可說是梵谷對家的回憶與普羅旺斯情調的結合。

梵谷的一生充滿苦難，他渴望愛與被愛，卻不擅長與人相處，因此總是孤獨又寂寞。這一切，從他的作品中就可看出端倪，他的油畫有太強烈的自我主張，想畫出苦澀、粗糙的真實人生，其色彩及繪畫方式耀眼必讓人難以忘懷。梵谷畫出人類的靈魂，一如他所讚嘆的「米勒」等大師，人類的靈魂是寶貴的珍珠。他又說，繪畫是唯一能夠撼動他的內心世界，最能令他感到永恆。這也許就是梵谷的繪畫之所以打動人心且燃燒自己的原因吧！∞

參考資料：國立歷史博物館、自由時報、聯合晚報