

無塵室節約能源技術手冊



委託單位：經濟部能源局

執行單位：工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

台灣無塵室的數量越來越龐大，而在各個產業的使用上也越來越廣泛。其中，以半導體相關無塵室所佔的比重最多，超過了一半以上。改善無塵室的耗能，不但可節省能源，亦可節省成本，進而提高產品競爭力。本手冊首先將介紹無塵室的基本概念，然後是說明無塵室的耗能狀況與耗能原因。接下來將提出無塵室的各項節能措施，最後再附上無塵室節能的實際案例。



產業照明系統節能技術手冊

目錄

一、前言	1
二、無塵室簡介	2
2.1 無塵室的工作原理	2
2.2 無塵室潔淨等級標準	2
2.3 無塵室污染物來源	4
2.4 無塵室之分類	5
三、無塵室驗證測試	6
四、無塵室的能源消耗	8
五、無塵室節能措施	10
5.1 無塵室的設計面節能措施	10
5.2 無塵室的運轉面節能措施	11
六、無塵室節能範例	13
七、結語	14

一、前言

為了不使產品在製造過程中受到如灰塵或微生物等污染物的影響，進而造成產品良率下降，因此某些製程必須在一個無塵的環境下才能進行，於是有了無塵室的概念。

舉凡半導體產業、光電產業、微機電產業、生技醫療器材產業及製藥業等皆需要建置無塵室。而且有越來越多的產業使用無塵室製程，不過目前還是以半導體製造業使用得最普遍。如圖 1 所示，所有使用無塵室的產業中，半導體無塵室佔了全國無塵室使用樓板面積的 61%。此處半導體製造包含了晶圓代工、TFT-LCD、通訊及深次微米製程等。由於維持無塵室的潔淨必須耗費非常多的能量預防及排除污染物，因此如何在產品製程良率的要求下又能降低無塵室的耗能便成為一個需要正視的問題。但是，由於目前台灣低廉的電價政策，半導體廠能源費用僅佔生產成本的 5% 不到，使得半導體廠往往忽略節能。不過，根據 ISMI 調查，若全球半導體業採取適當節能措施，則每年約可節電 48 億千瓦，足夠 17.7 萬個家庭使用。所以，如何降低無塵室的耗能仍將是國內工業節能很重要的一環。

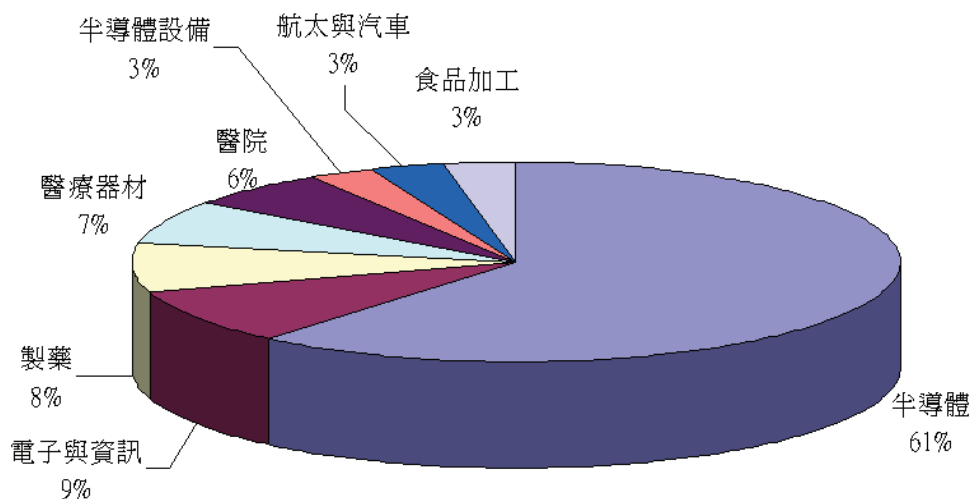


圖 1 使用潔淨製程的產業分佈



二、無塵室簡介

2.1 無塵室的工作原理

無塵室又稱潔淨室，是指為了控制空間中的污染物而建造的一個封閉性建築。此處的污染物包括空氣中的灰塵、微生物、懸浮顆粒和化學揮發性氣體。此外，一般無塵室也會對溫濕度、氣流運動模式與震動噪音等因素做控制。

至於無塵室工作原理，所使用的手段不外乎引進新鮮潔淨空氣進行稀釋、氣流運動帶走微塵與濾網濾除污染物等方式達到控制空間中污染物的目的。

2.2 無塵室潔淨等級標準

無塵室雖然號稱無塵，但是事實上還是有程度上的差別。無塵室的潔淨程度基本上是靠金錢堆積出來的。基於錢必須花在刀口上的理由，並不是所有無塵室都需要無止境的追求高潔淨度，而應是追求合理的潔淨度即可。至於無塵室潔淨等級的標準，目前國際上看到的有美國聯邦標準 Federal Standard 209E、國際標準 ISO 14644、日本潔淨標準 JIS B9920、德國潔淨標準 VDI 2083 以及俄國潔淨標準 Gost-R 50766 等。在這些標準中，最常被提及的是美國聯邦標準 Federal Standard 209E 和國際標準 ISO 14644。

Federal Standard 209E (Fed-Std-209E)採用的是英制單位。美國雖然已於 2001 年取消此標準，但是因為尚有許多採用英制單位的微粒計數器未完全被淘汰，所以這個標準仍然普遍適用在產業界。表 1 所列出的是 Fed-Std-209E 的潔淨度定義。主要分為 Class 1、Class 10、Class 100、Class 1,000、Class 10,000 及 Class 100,000 等。舉例而言，所謂 Class 100 係指在每立方英尺的空間中，粒徑大於 0.5 微米的顆粒不得多於 100 顆。Class 1000 則是不得多於 1000 顆。以此類推。

此外，ISO 14644 所採用的是公制單位，是發展來取代 Fed-Std-209E 的無塵室標準。其定義列於表 2 中。潔淨度等級從 ISO Class 1、ISO Class 2、...，一直到 ISO Class 9。其中，ISO Class 1 的定義是每立方公尺的空間中，粒徑大於 0.1 微米的顆粒不得多於 10 顆。ISO Class 2 則是不得多於 100 顆。與 Fed-Std-209E 類似，每差一個等級，顆粒數變為 10 倍。此外，由表 2 中還可以看出，ISO Class 5 的定義其實相當於 Fed-Std-209E 的 Class 100。我們可以從表 1 和表 2 中找出 Federal

Standard 209E 和 ISO 14644 互相對應的地方。基本上，ISO 14644 將 Federal Standard 209E 所定義的都包含了，而且範圍還更廣，是比較完整的定義。

表 1 Fed-Std-209E 的潔淨度定義

Class Limits											
Class name		0.1 μm		0.2 μm		0.3 μm		0.5 μm		5 μm	
		Volume units		Volume units		Volume units		Volume units		Volume units	
SI	English	(m^3)	(ft^3)	(m^3)	(ft^3)	(m^3)	(ft^3)	(m^3)	(ft^3)	(m^3)	(ft^3)
M1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10.0	0.283	-	-
M1.5	1	1,240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	-	-
M2		3,500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	-	-
M2.5	10	12,400	350	2,650	75.0	1,060	30.0	353	10.0	-	-
M3		35,000	991	7,570	214	3,090	87.5	1,000	28.3	-	-
M3.5	100	-	-	26,500	750	10,600	300	3,530	100	-	-
M4		-	-	75,700	2,140	30,900	875	10,000	283	-	-
M4.5	1000	-	-	-	-	-	-	35,300	1,000	247	7.00
M5		-	-	-	-	-	-	100,000	2,830	618	17.5
M5.5	10000	-	-	-	-	-	-	353,000	10,000	2,470	70.0
M6		-	-	-	-	-	-	1,000,000	28,300	6,180	175
M6.5	100000	-	-	-	-	-	-	3,530,000	100,000	24,700	700
M7		-	-	-	-	-	-	10,000,000	283,000	61,800	1,750

表 2 ISO 14644 的潔淨度定義

Maximum concentration limits (particles/ m^3 of air) particles equal to and larger than the considered sizes shown below						
Classification Numbers(N)	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	1 μm	5.0 μm
ISO Class1	10	2	-	-	-	-
ISO Class2	100	24	10	4	-	-
ISO Class3	1,000	237	102	35	8	-
ISO Class4	10,000	2,370	1,020	352	83	-
ISO Class5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO Class6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO Class7	-	-	-	352,000	83,200	2,930
ISO Class8	-	-	-	3,520,000	832,000	29,300
ISO Class9	-	-	-	35,200,000	8,320,000	293,000



2.3 無塵室污染物來源

上面所述之各種潔淨度標準中，粒徑大小是一個很重要的參考指標。圖 2 所顯示的是空氣中常見微粒的尺寸範圍。舉例來說，頭髮的直徑大概是 100 微米，灰塵的粒徑大小從 1 到 100 微米，而細菌大約是從 0.02 到 1 微米左右。無塵室的目的當然是要想辦法去除所有的污染微粒。一般而言，過濾器對粒徑大於 0.3 微米以上的粒子如果有 99.99% 的去除效率的話，如此才能稱為高效率過濾器。

另外一個值得注意的問題是，無塵室的污染來源到底包含了什麼東西？而他們又是從哪裡來的？如圖 3 所示，基本上我們可以把無塵室的污染源分成外來污染源和內部污染源兩大類。外來污染源包括了空調送風、外氣補給、建物間隙、天花板內部、人、物、原料及風管等。其中以空調送風和外氣補給影響的程度較大。而內部污染源包含了操作員工、製程設備、加工過程、給水藥劑、高壓氣體、工具儀器、事務機器及壁體剝落等因素。內部污染源中需特別注意操作員工與製程設備所造成的污染。

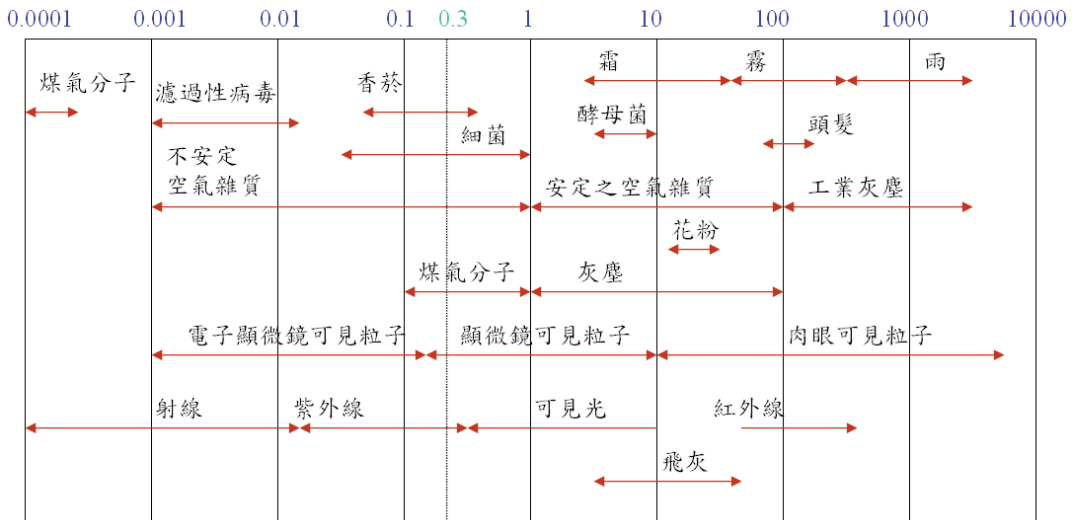


圖 2 空氣中常見微粒的尺寸範圍

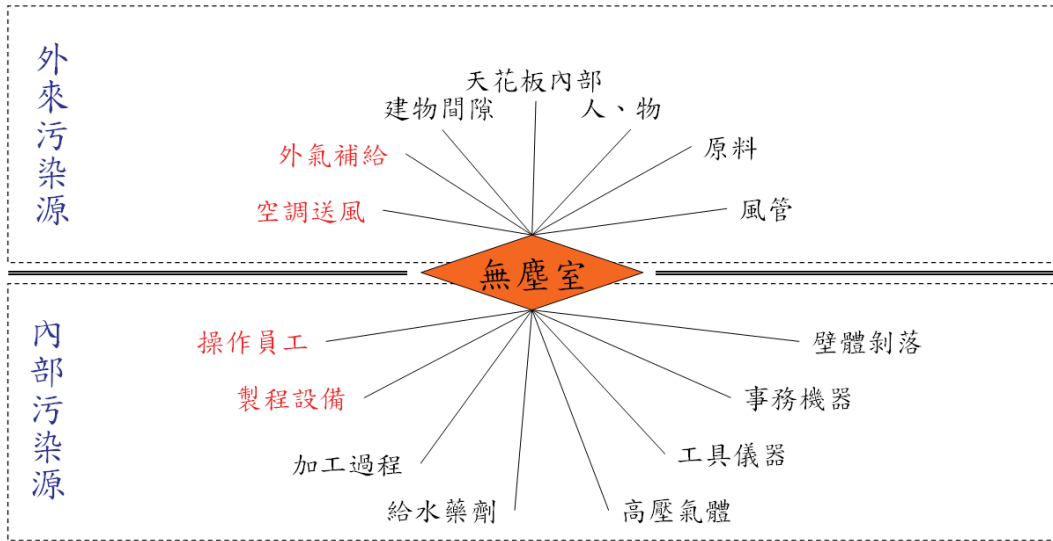


圖 3 無塵室的污染源

2.4 無塵室之分類

如前所述，排除污染物的方法最主要是利用氣流運動帶走污染物。因此，根據氣流運動狀態的不同，可將無塵室分成傳統型、層流型與混合型三大類，茲分述如下：

- (1)傳統型(Conventional flow type)—又稱亂流型(turbulent flow type)，氣流型態紊亂，主要是利用經處理後的潔淨外氣稀釋室內微粒濃度。通常其潔淨等級在 Class 100,000 ~ Class 1,000。
- (2)層流型(Laminar flow type)—氣流呈現單一方向運動，藉由氣流將室內微粒帶走。適用於 Class 100 或更高等級的潔淨度要求，因此通常較耗能。
- (3)混合型(Mixed flow type)—將亂流型與層流型混合使用。在需要較高潔淨度的局部空間內使用層流型，而在其他區域使用亂流型無塵室，以達到潔淨度要求並兼顧降低能耗。



三、無塵室驗證測試

國際上除了對無塵室等級有所規範外，對於無塵室內的污染物控制及環境控制亦包含在無塵室測試驗證的範圍。而在說明無塵室的驗證測試規範之前，必須先對無塵室的使用狀態定義，以免造成困擾。一般而言，無塵室依照操作狀態可區分為剛完工、準備中與運轉中三種狀態。

- (1)剛完工的無塵室(As-built cleanroom)—剛建造完成，無塵室內尚無操作設備與工作人員。
- (2)準備中的無塵室(At-rest cleanroom)—操作設備已進駐，尚無工作人員。
- (3)運轉中的無塵室(Operational cleanroom)—操作設備與工作人員皆已進駐，無塵室正常運轉中。

因為運轉中無塵室的潔淨度與準備中或剛完工的不太一樣，所以無塵室驗收的時候必須要定義清楚，以免造成日後的糾紛。

無塵室的操作狀態定義清楚之後，接下來要說明的是無塵室測試驗證的標準規範。目前常見的有 IEST-RP-CC006.2、NEBB 無塵室測試規範第二版及 ISO 14698 系列。分別敘述如下：

1. IEST-RP-CC006.2：

由於 Federal Standard 209E 只有規範微粒計數，所以 IEST-RP-CC006.2 就針對其他的控制因素做規範。表 3 即是 IEST-RP-CC006.2 的測試項目及適用狀態。針對傳統型、層流型與混合型無塵室在不同狀態下的風量與均勻度、風速與均勻度、濾網洩漏、潔淨度、壓力、平行度、空間洩漏、恢復率、粒子沉降測試、照度、噪音、溫濕度以及振動都在 6.1 到 6.14 節中有所規範。其中，1 代表 As-built 狀態，2 代表 At-rest 狀態，3 代表 Operational 狀態，OPT 代表選擇性適用，而 N/A 代表不適用。

2. NEBB 無塵室測試規範第二版：

與 IEST 相似，但規範得更清楚與嚴謹，是目前最廣泛使用的測試規範。NEBB 建議測試項目的選擇依重要性區分成三級：

- (a)Level 1—主要測試，無塵室最低限度應做的測試。包含風量與均勻度、風速與均勻度、壓力、濾網洩漏與潔淨度。

表 3 IEST-RP-CC006.2 的測試項目及適用狀態

章節	測試項目	傳統型	層流型	混合型
6.1	風量與均勻度	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
	風速與均勻度	OPT	1, 2, 3	OPT
6.2	濾網洩漏	1, 2	1, 2	1, 2
6.3	潔淨度	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
6.4	壓力	1, 2, 3	1, 2	1, 2, 3
6.5	平行度	N/A	1, 2	OPT(1, 2 only)
6.6	空間洩漏	1, 2	1, 2	1, 2
6.7	恢復率	1, 2	N/A	1, 2
6.8	粒子沉降測試	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
6.9	照度	1, OPT(2, 3)	1, OPT(2, 3)	1, OPT(2, 3)
6.10	噪音	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
6.11-6.13	溫濕度	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3
		OPT	OPT	OPT
6.14	振動	OPT	OPT	OPT

※ 適用狀態：1(As-built狀態)；2(At-rest狀態)；3(Operational狀態)；OPT(選擇性適用)；N/A(不適用)

(b)Level 2—選擇性測試，特定狀況下需執行的測試。例如平行度測試只適用於層流型無塵室；空間洩漏測試現在幾乎已經被壓差測試所取代；恢復率測試只適用於傳統型無塵室；而粒子沉降測試近年來已經很少做了。

(c)Level 3—與潔淨度控制無關，屬環境控制測試。例如照度與均勻度、噪音、溫濕度與振動等。

3. ISO 14698 系列：

係針對無塵室裡面生物污染控制的規範。

上面所述僅是簡要說明各種規範的定義及適用範圍，各項測試的規範請各位讀者依個人需求自行參考規範上面的各項規定。



四、無塵室的能源消耗

要做到無塵室節能，當然要瞭解無塵室的能源消耗情形。圖 4 是無塵室的能源消耗示意圖，從圖中可以看出，包括冰水、風扇與氣流以及熱水與蒸汽等空調相關耗能，約佔了全廠總耗能的一半。所以，如何降低無塵室的空調耗能將是節能的最主要關鍵。此外，製程機器的耗能比例僅次於空調耗能，但是由於涉及產品良率的問題，而且大多採取自動化製程，所以不容易調整。我們仍然應該以改善無塵室空調耗能做為無塵室節能的第一優先工作。

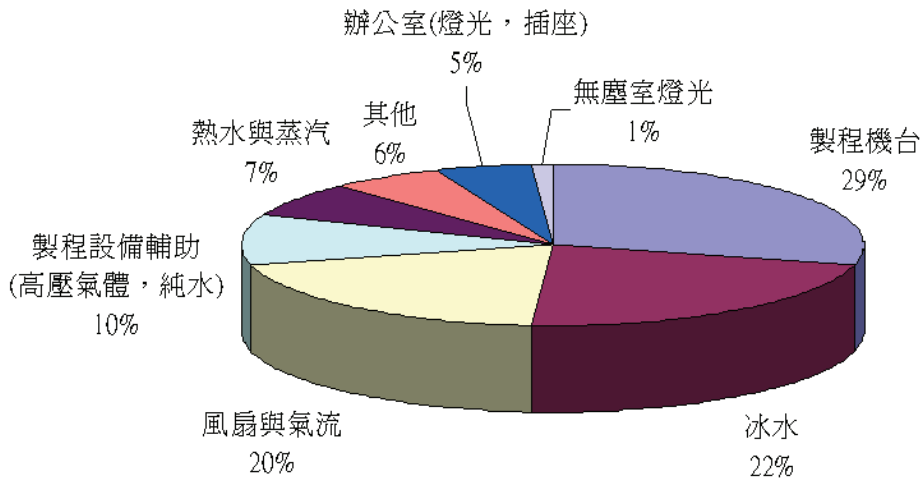


圖 4 無塵室耗能比重示意圖

之所以無塵室空調相關設備佔了極大的耗能比例，是因為無塵室空調與一般空調有所不同。一般而言，無塵室空調具有下列要求：

- (1) 溫濕度要求較一般空調嚴格，溫度在 22~24°C 左右，濕度則介於 40~45%。
- (2) 必須恆溫恆濕控制，大部分區域溫度變動量為 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，濕度變動量則為 $\pm 3\%$ 。
- (3) 需要較多外氣，將製程的揮發性氣體及有毒氣體排除。
- (4) 需要維持正壓，避免室外的溫濕度及微粒進入無塵室內。
- (5) 氣流分佈須均勻，將無塵室內的微粒帶走，以維持該有的潔淨度等級。

無塵室空調系統的主要功能就是溫濕度控制與潔淨度控制，為達到上述無塵室空調要求，將使得無塵室空調耗能高達全廠耗電量之半。其中，溫濕度的控制主要是透

過冰水主機來控制，而冰水主機的耗能大約佔了全廠耗能的 22%。換言之，無塵室空調耗能的 45%在冰水機上。另外，潔淨度的控制則是透過新鮮無塵空氣的引入，來稀釋室內污染物的濃度。或者是利用風機系統所設計的氣流場把污染物帶走，再用過濾器除去污染物。總計風扇和氣流的耗能大約佔了全廠耗能的 20%，亦即無塵室空調耗能的 40%是用在風機和濾網上。因此，想要降低無塵室的空調耗能，應該從冰水機、風扇以及過濾器著手，才能收對症下藥之效。



五、無塵室節能措施

綜上所述，無塵室的節能主要須由空調部份著手。大體而言，節能措施可分為設計面與運轉面兩大類。所謂設計面的節能措施指的是可以事前防範的措施，在無塵室建廠的階段，即設計最佳的空調配置，將節能設計概念導入實際建廠。而運轉面的節能措施是屬於事後補救的措施，主要是從無塵室實際運轉的情形，來盡可能降低能量的損耗。

5.1 無塵室的設計面節能措施

設計面節能亦即設計最適當的無塵室空調系統。請注意，這裡說的是最適當的，而不是最好的，所以是因時、因地、因物而制宜的。能夠達成無塵室空調節能設計最佳化的方法當然有很多，主要有以下措施：

- (1)採用高效率冰水主機及節能鍋爐—高效率冰水機比一般冰水機可節省約 20%的耗能，節能鍋爐亦比一般鍋爐節能 10%左右。
- (2)採用儲冰系統—利用離峰電力儲冰，分擔尖峰時期空調需求。
- (3)使用多重溫度冰水系統—通常一般冰水機為單一溫度輸出，然後再加溫成各種空調或製程所需溫度。若一開始即設計多重溫度輸出之冰水系統，將可減少無謂的冷能浪費。
- (4)高效率風機數量及風管路徑最適化設計—風機種類、大小及數量皆須依所欲達到之無塵室等級做最佳節能設計。此外還要減少不必要的管路阻抗，以提升整體風機裝置效率。
- (5)使用變頻器控制轉動機械轉速—風機及泵浦等轉動機械加裝變頻器後，可依即時工作需求自動變更其轉速，使其在較高效率下運轉。

除了上述節能設計之外，另外還有一點要考慮的是，必須要在建廠之前就先估計未來運轉時的空調負荷，以做為空調系統設計的參考。一般而言，無塵室空調負荷可分為室內負荷和室外負荷兩大類。室內負荷包括了製程機器負荷、送風機負荷、燈光負荷以及人員負荷等。其中，製程機器和送風機負荷依照使用機種的發熱量而有所不同，燈光負荷可以用每平方公尺 30 瓦來估計，而人員負荷則是每人每小時 60 千卡的顯熱和 50 千卡的潛熱。至於室外負荷，乃為了要維持無塵室的潔淨度，必須導入室外新鮮的潔淨空氣，因此需要有一個外氣空調箱來處理外氣，所以才會產生無塵室

空調的室外負荷。而室外空調負荷的大小，可以用外氣輸入量乘以室內外空氣焓的差值來估計。

5.2 無塵室的運轉面節能措施

無塵室節能運轉的關鍵應從節能空調下手，而空調所要處理的問題可分成空氣側與水及冷媒側兩部分。空氣側為了要提供潔淨而且溫濕度符合需求的空氣，必須要對風機、濾網以及風管路徑等進行適當的節能措施。水和冷媒側則為了要提供空氣側適當的溫濕度，所以必須使用冰水機。因此，冰水機的節能是空調節能中非常重要的一環。

一般來說，空氣側可採取與溫度相關的節能措施有：

- (1) **室內溫濕度的最佳設計**—目前半導體廠的黃光區在 As-built 狀態下，可達到溫度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 且濕度為 $\pm 2\%$ 的高水準，而這是需要耗費相當多能源才能達成的。若溫濕度的變動量可適度提高，將對節能有很大助益。
- (2) **低溫送風的採用**—若吸入與吹出空氣的溫差甚大時，則可減少供風量，進而減少風機的耗能。儲冰系統的冷風即是可以用來減輕風機負荷的選擇。
- (3) **高溫排氣再利用**—在冬天室外溫度低於室內時，可將室內較高溫排氣再利用，以之預熱外氣，同樣是可以減少空調系統的耗能。

除此之外，空氣側尚可採取與送風相關的節能措施。主要方法有：

- (1) **外氣導入量最適化之控制**—在符合潔淨等級的條件下，適度調低外氣導入量可降低空調負荷。
- (2) **適度降低下吹氣流之速度**—較高的下吹氣流速度可有效提高無塵室內的潔淨度。不過，最好能在維持潔淨等級的先決條件下適度降低下吹氣流之速度，如此將可降低風機負擔。
- (3) **Mini-environment 之運用**—僅在需要高潔淨製程的機台以微環境的概念塑造出高潔淨等級的環境，其他區域潔淨度仍維持不變，藉以避免全廠皆處於高潔淨狀態而耗能太多。
- (4) **Clean-bench 與 Air-curtain 之運用**—與微環境概念相似。不同之處在於 mini-environment 是對製程機台的空氣隔絕，而 clean-bench 與 air-curtain 則是對無塵室周圍區域的隔絕，藉以減低人員對機台的污染。



- (5) **低壓損過濾系統之使用**—採用低壓損的 HEPA 及 ULPA。此外，濾網在使用一段時間後，阻抗會增加，應定期更換濾網。
- (6) **降低風管系統之空氣洩漏量**—無塵室風管負責輸送大量之供風，因此管內風壓甚大。小孔洞即可能引起大洩漏，應設法避免洩漏問題。此外，門或窗亦是可能造成洩漏之處，也必須加以防範。
- (7) **風機維持高效率運轉**—應精確估計風機系統的阻抗，搭配風壓及風量，使風機維持在最高效率下運轉。通常為達此目的，風機必須搭配變頻器，機動地調整風機轉速，以提供最合適的風量。

至於水與冷媒側可採取的節能措施為：

- (1) **適度調高冰水主機之冰水溫度**—在符合空調及製程的需求下，將冰水溫度適度提高，可減少冰水系統耗電。
- (2) **廢熱回收應用**—利用回收之廢熱預熱製程所需之溫水，可減少將水加熱之耗能。
- (3) **冷卻水塔清潔維護**—定期清潔冷卻水塔，避免積垢導致熱傳性能降低。此外亦可考慮採用新型封閉清靜式冷卻水塔，因其不與空氣直接接觸，可減少結垢問題。再加上其內部為負壓狀態，可使水溫降至濕球溫度以下，提供更好的冷卻效能。
- (4) **維持鍋爐高效率運轉**—減少過剩空氣量、降低排氣溫度、減低鍋爐壓力、減少蒸汽洩漏、減少燃燒器的沉積物及做好保溫工作皆有助於使鍋爐在高效率狀態下運轉，達成鍋爐節能之目的。

雖然說無塵室節重的重點在於空調節能，但仍有些與無塵室空調無直接關聯的措施可以減少無塵室的耗能。常見的措施有：

- (1) **照明系統之節能**—採用節能燈具及關閉非必須之燈光可有效減少照明用電。
- (2) **輔助設施之節能**—例如馬達應採用高效率變頻馬達，空壓機的壓力亦不宜超過正常運用壓力太多。
- (3) **定期節能查核**—定期檢查並記錄無塵室內各項設施之耗能狀況。若有耗能異常情形可快速掌握應變，如此才能達到無塵室節能的目標。

上述各種節能的措施提供給各位讀者參考，請各位依照各無塵室的實際使用狀況，斟酌採取各項適當措施，以達到確實降低無塵室能源的損耗。

六、無塵室節能範例

有關無塵室節能的範例甚多，但有些未必有評估節能績效，底下僅舉出幾個實際案例，說明其節能措施與其節能成效，供給各位讀者參考。

(1)範例一

某廠調降其 FFU(Fan-Filter Unit)的風機轉速 15%，使其由 1300rpm 降至 1100rpm。結果使得風機耗電量由 354kW 降為 214kW，節電約 40%。

(2)範例二

某廠藉由調低 MAU 的風機轉速將無塵室的正壓值由 45Pa 降為 35Pa，風機馬達耗電雖僅減少 71kW，然而無塵室正壓減少造成外氣處理量減少，可減少 284kW 耗電。總計每年可減少 311 萬度電。

(3)範例三

某廠由於人為作業不當，造成無塵室正壓洩漏。經由改善作業流程，避免時常開啟物料進貨大門，使得空調箱耗電量減少 20%。

(4)範例四

某廠在外氣空調箱內加裝兩道熱交換盤管，利用空調箱內部熱能回收，減少冰水與溫水供應量，降低冰水機與鍋爐耗能。空調箱每年約可節省 40 萬度電，鍋爐每年則可減少約 24.7 萬立方米的天然氣消耗量。

(5)範例五

某廠為了控制無塵室裡的空氣，廠務工程師拼命加裝濾網機組，造成過度設計。拆除一半濾網機組後，空氣品質並未變差，反而每年節省了 500 萬的電費。

(6)範例六

某廠將冰水主機出口水溫設定由 5.4°C 提高為 7~8°C，則每年減少約 65 萬度電的消耗。



七、結語

台灣的半導體產業非常發達，無塵室數量非常龐大，有效管理無塵室耗能問題是工業節能很重要的一環。而無塵室耗能中，空調耗能佔了一半，若能好好針對此類問題加以改善，將可節省可觀的電費，也會大大提升台灣產業的競爭力。



經濟部能源局
BUREAU OF ENERGY, MOEA

<http://www.moeaboe.gov.tw>



工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

<http://emis.erl.itri.org.tw>

經濟部能源局廣告品