低溫乾燥室

原文刊載於一丞通訊 VOL.41　1999.8.

日本高砂熱學

1. 前言

近年來隨伴產業界的高科技化，要求生產線環境在低溫低溼的空調狀態案例與日俱增。而所謂空氣清淨方面，於半導體中代表性的超微細加工工程，要求超清淨室是 0.1 μm 等級 1，實現真正的超清淨度。而相對地在空氣濕度方面，針對加工材料對水分反應較差或對水分吸濕效果不佳的場合，亦或是製造成品需長期保存或該場所需維持低溫低濕時，都必須使室內保持乾燥。

乾燥室的應用場合，如鋰電池和半導體製造生產線上的作業員必須進入常溫乾燥室內作業，醫藥品或保存製品等必須在室內作業情況都需要設置維持低溫低濕條件的低溫乾燥室。通常大部份亦要求維持清淨度。而當這些乾燥室被要求安裝超低濕分空氣發生除濕裝置時，往往因清靜度的要求，除溼裝置必須要能處理大流量的空氣。目前有一種「超低濕度空氣發生裝置」，主要構造是組合多台峰巢轉輪（Honey Comb Rotor ）乾式除濕機而製成的，此種裝置很容易即可提供送風露點溫度-50℃以下的乾空氣。

本文根據低溫乾燥室的設計例和實施例等之敘述，來概括介紹低溫乾燥室。

2. 低溫乾燥室的空調設備

低溫乾燥室的空調設備主要是爲保存製品，根據製品性質維持低溫低濕的空氣條件。而完善的低溫乾燥室須具有能控制溫、濕度在一定的精度下空調設備。

低溫乾燥室隨濕度變遷，乾球溫度在低溫時形成「冷藏庫」，當室內有作業員，乾球溫度保持在 20℃~25℃且濕度維持低濕份時，則爲「常溫乾燥室」，而當室內沒有作業員時，乾球溫度在 0℃以下且濕度維持低濕分的室內稱爲「低溫乾燥室」。

空調設備的結構是由除去濕氣的除濕裝置和維持低溫的空調機組合而成。除濕裝置以單一性全外氣低濕氣發生裝置來進行 2 段乾式除濕。另一方面，空調機內裝直膨式冷卻盤管、調溫用加熱器、送風機和 HEAP 過濾器，冷熱源則使用氣冷式分離型的直膨式冷凍機。

溫度控制於冷凍機中直至-18℃時開始冷卻，在冷卻盤管出口處設置加熱器（電氣加熱器）以進行微調整，而濕度控制設定在除濕機的出口露點溫度爲-50℃時，在空調機入口側與熱空氣混合，當濕度在要求值以下時，再以微調整進行加濕。這個加濕裝置因加濕量很少，不能採用一般的加濕機，僅適合設置於外部的「小容量特殊加濕裝置」。

本資料由一丞冷凍工業股份有限公司提供

3. 設計時應注意的事項

3. 1 低溫乾燥室的建構（參照圖 1）

1.牆壁和屋頂是使用 100mmt 兩面有色鋼板之夾心壁板（sandwich panel），屋頂採用二層屋頂方式，主要是使風量分配平均。

2.地板的結構如圖所示，最下層是基礎混凝土，然後是防濕層、斷熱層、防水層、之後再加上一層混凝土床，最後在混凝土床上舖設 SUS 板，其中混凝土是爲防止水份上昇。

3.乾燥室和屋內壁的空隙，即壁板裏面接合面會發生結露、結冰現象，故須考量高濕空氣的流入，從屋頂上面和壁面空隙間以強制性通風來排除往乾燥室多餘的空氣，此時，空氣露點溫度下降而往壁面的通風效果提昇，是爲了防止結露、結冰的情況發生。

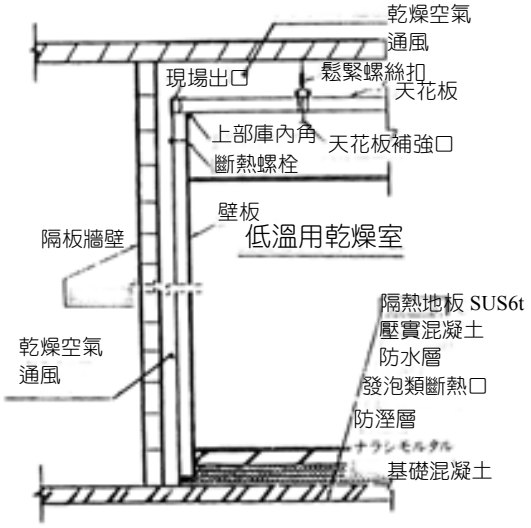

圖 1 壁板的構造與隔熱

4.製造的成品進出乾燥室時，爲防止成品過冷或因附著水分而產生結露，設置了所謂「前室」，在前室滯留一定時間內，以階段性控制空調變化且進行成品溫度調節。

5.其他，出入口門的形狀，操作方法與一般冷凍冷藏庫架構相同。

3. 2 空調機的組成

1.空調機內裝直膨式冷卻盤管、加熱器、送風機，HEPA 過濾器等以斷熱包裝。

2.整個組合由 100mmt 兩面有色鋼板的夾心壁板組成，防止外氣侵入。

3.空調機內分離爲(1)項機器的收納通風部和維修保養空間部兩個系統，形成雙重結構。

4.維修保養空間內設置冷媒配管，於外部設計人孔便於檢修。裝置 HEPA 過濾器時，在內外兩時側均設計人孔以便更換過濾器。

3. 3 送風管（duct）的材質與斷熱（參照圖 2）

常溫乾燥室用的送風管是回風空氣用，爲防止吸入外氣，使用全熔接風管。送風管使用密封管（seal duct）以便進行外斷熱。另一方面，作爲低溫乾燥室用的風管，針對常溫乾燥室的風管來製造構成的，但因爲送風溫度均屬低溫，必定會吸引外氣進入，即使送風空氣有漏風現象，但

本資料由一丞冷凍工業股份有限公司提供

在漏風處絕不會生成結露或結冰，結露水由漏風處侵入內部導致濕分上昇。同樣地，雖然外部斷熱，從風管面不良處漏風亦同樣會產生結露或結冰現象，引起各種問題。

然而，送風管全部以斷熱材爲芯材，兩面以亞鉛鋼板，夾心壁板則使用壁板風管（panel duct），壁板風管內全面埋入合成防熱材，以斷熱螺栓來接合，使用熱電橋（heat bridge）來防止結露或結冰現象，且 50mmt+50mmt 的接合部位，如果內外壁板（panel）接合面不能符合，就無法繼續施工了。

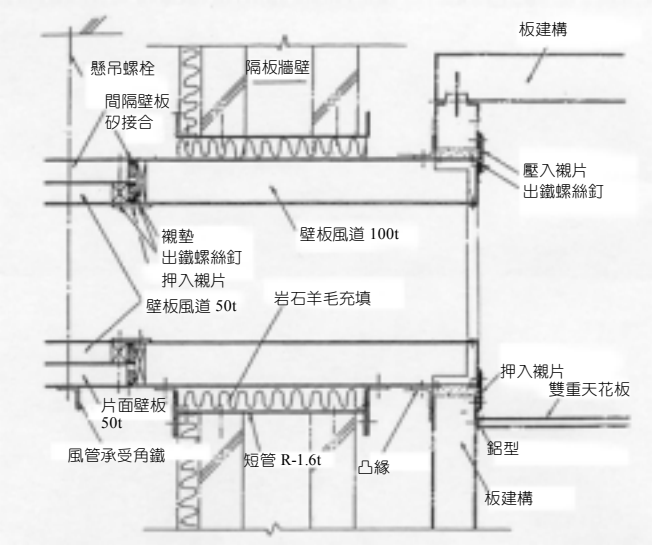

圖 2 壁板風管

3.4 可否在低溫使用 HEPA 過濾器

1.使用在低溫空調器的出口處之 HEPA 過濾器，目前大多數的 HEAP 過濾器均在常溫下使用。如本例題，送風溫度是-18℃，能不能在低溫使用 HEAP 過濾器？根據事前試驗來証明是否可行，試驗溫度是-40℃。

2.測試之過濾器、濾材

1) 1EA-600

外形尺寸：$610^{H}\times610^{W}\times150^{D}$（mm）
(構成材料)

- 外框：鋁材
- 濾材：玻璃纖維
- 隔板（separator）：鋁材
- 封口（seal）：氨基甲酸乙酯樹脂
- 密封墊圈（gasket）：氯丁橡膠海綿（sponge）
- 標籤（label）：聚酯

2) 1 EUKT-600

外形尺寸：$610^{H}\times610^{W}\times150^{D}$（mm）
（構成材料）

- 外框：SUS304
- 濾材：玻璃纖維
- 隔板：鋁材
- 封口：矽（夕利康）
- 密封墊圈：矽海綿
- 標籤：捺印

本資料由一丞冷凍工業股份有限公司提供

3)HEPA 過濾器使用濾材

(3)試驗項目

1)過濾器

- 壓力損失
- DOP 滲透率
- 粒徑別滲透率

2)濾材

- 抗張強度試驗

(4)試驗裝置

1)溫度周期（cycle）

- 恒溫恒濕槽

2)過濾器性能試驗

- Q-107 型 DOP 試驗裝置
- 微型計數器（particle counter）（ROYCO-226）

3)濾材抗張強度試驗

- Shopper 型抗張試驗機

（5）試驗方法

1)使用 Q-107DOP 試驗裝置和微型計數器（particle counter）來測定過濾器的初期性能。從外觀來確認。

濾材的抗張強度試驗，以縱方向和橫方向各 5 張來測定，其平均值即爲抗張強度。

（抗張強度條件）

- 試料長：100mm
- 試料寬：25mm
- 抗張速度：100mm/min

2)低溫試驗①

將過濾器和濾材（抗張試驗用）插入恆溫恆濕槽內，記錄溫度周期，進行一個星期的溫度周期。（本實驗約進行 55 周期。）

3)周期終止之後，進行過濾器（filter）的性能測定，確認有沒有性能惡化或外觀變化。

4)低溫試驗②（①終止之後再繼續）

將過濾器和濾材放入恒溫恒濕槽內（-40℃）靜置 1 個小時，之後將過濾器取出放置在室溫下 1 個小時，形成 1 個週期，如此進行 10 個週期的試驗。

5)10 週期終止之後，再進行過濾器的性能測試，確認有沒有性能惡化或外觀變化。然後再測定濾材的抗張強度。

6)試驗結果

過濾器的低溫試驗前後之壓力損失和 DOP 滲透率測定結果如表 1 所示。濾材的低溫試驗前後之抗張強度如表 2 所示。

本資料由一丞冷凍工業股份有限公司提供

表 1 過濾器之壓力損失和 DOP 滲透率測定

測試型號	測試項目	初期性能	低溫試驗 1	低溫試驗 2
1EA-600	壓力損失	24.5mmAq	24.5mmAq	24.5mmAq
	DOP 透過率	0.002%	0.002%	0.002%
1EUKT-600	壓力損失	23.0mmAq	23.0mmAq	23.0mmAq
	DOP 透過率	0.002%	0.002%	0.002%

表 2 濾材的抗張強度測試結果

方向	常態	低溫試驗 1、2
M.D	2698g	2664g
C.D	1828g	1774g

試料長：100mm M.D:縱方向
試料寬：25mm C.D:橫方向
抗張速度：100mm/min

7)試驗結果

可以確認壓力損失與 DOP 滲透率均有顯著的性能變化，而對於外觀方面，各部份材料沒有什麼不同，濾材媒體的抗張強度沒有變化，總之，可以確定在低溫度空氣中使用絕對不成問題。

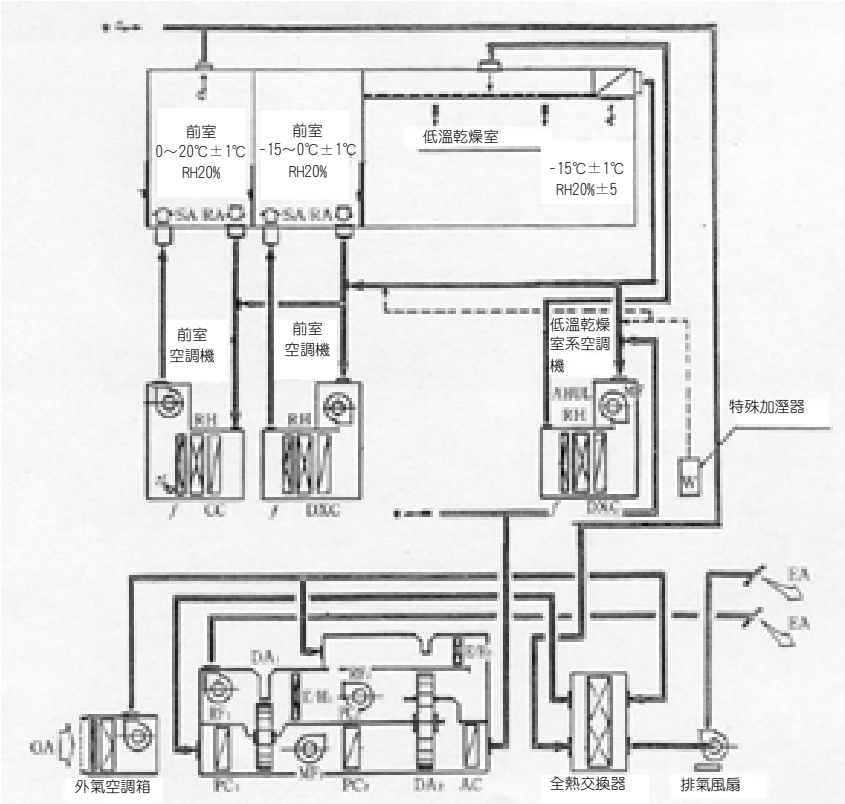

圖 3 系統圖

本資料由一丞冷凍工業股份有限公司提供

4. 實施例

本實施例題是使用於成品的保存中之設備，乾燥室內維持低溫低濕的狀態，以確保成品品質不會發生變化。有關設計條件與機器設備的組成，及最經濟有效利用的消耗量如表 3、4 所示。其系統圖如圖 3 所示。而空氣狀態圖如圖 4，5 所示。

（1）本設備的特徵

1)送風空氣的清淨度之等級爲 1000。
2)室內溫濕度無需控制在低溫低濕下，溫度控制在±1℃，而濕度控制在±5% RH。
3)和除濕裝置併用的空調器系統沒有裝入除霜回路。

（2）運轉結果

本實施例題的低溫乾燥室，維持設計條件之溫濕度來進行運轉。設計時應再三確注意事項，往後設計新的乾燥室時，即可有效利用這次的數據。

表 3 設計條件

項目	設計值
乾燥室尺寸	$10^{M}\times 9^{M}\times 2.5^{MH}$
溫溼度條件	乾球溫度-15±1℃ 相對溼度 20%RH±5
室內負載	
照明	$20W/m^2$
人	1 人
隔間	使用隔熱板
排氣	無
周圍條件	無空調
清靜度	吹出口等級 1,000
冷熱源	冷凍機
溫熱源	電氣式
電力	3ϕ220V50Hz
外氣條件	
夏季	乾球 32℃ 相對溼度 68%RH
冬季	乾球-5℃ 相對溼度 50%RH
運轉時間	24 小時

本資料由一丞冷凍工業股份有限公司提供

表 4 主要設備一覽表

空調機

記號	名稱	規格	電源 kW	台數	備註
AHUL	型式	立式			
MF	送風機	4000m3/h×100mmAq	3.7	1	直結式
DXC	冷卻盤管	20,000kcal/hr		1	直膨式
RH	再熱式	10,000kcal/hr		1	溫鹽水
5	濾材	HEPA 濾材 蒸發溫度-25℃		1	

全外氣低溼度空氣發生器

	型式	2 段乾式除溼機		1	
DA1	除溼機	500φ×200^{t}	0.1	1	
MF1	除溼送風機	1.080cmh×150mmAq	1.5	1	
PC1	預冷器	17.000kal/hr		1	鹽水
PC2	預冷器	8,800kcal/hr		1	鹽水
EH1	再生電熱	電氣式	9	1	
RF1	再生送風機	360cmh×100mmAq	0.4	1	
DA2	除溼機	700φ×400^{t}	0.1	1	
AC	冷卻器	4,000kcal/h		1	鹽水
EH2	再生電熱	電氣式	6	1	
RF2	再生送風機	360cmh×100mmAq	0.4	1	

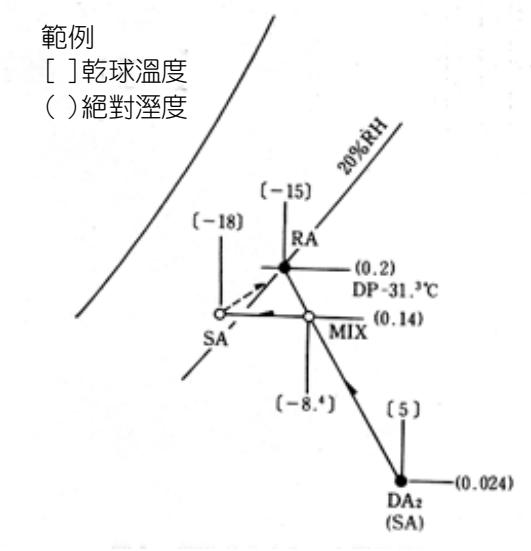

圖 4 低溫乾燥室空氣線圖

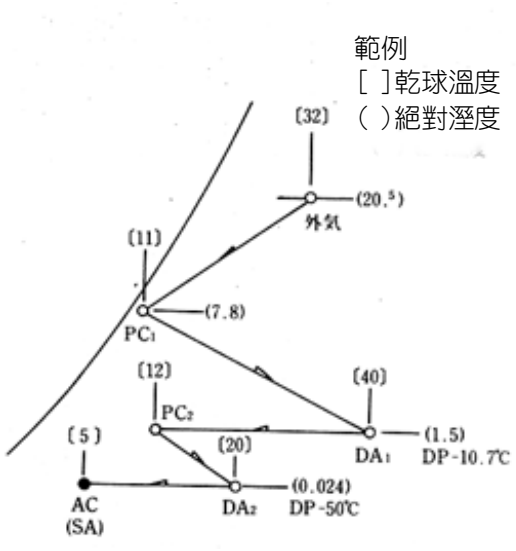

圖 5 全外氣低溫發生裝置空氣線圖

5. 結論

低溫乾燥室與常溫乾燥室一樣，能源消耗量都很大。運轉對策事先應規畫考慮詳細，以期當設備故障時，對製造品的影響能降到最少。

本資料由一丞冷凍工業股份有限公司提供