第三篇 超音波二相流噴霧加濕器

BEST A/V SYSTEMS

比例式超音波二相流噴霧加濕系統

Proportional Control Ultra-Sonic Final-Fog® Humidifier

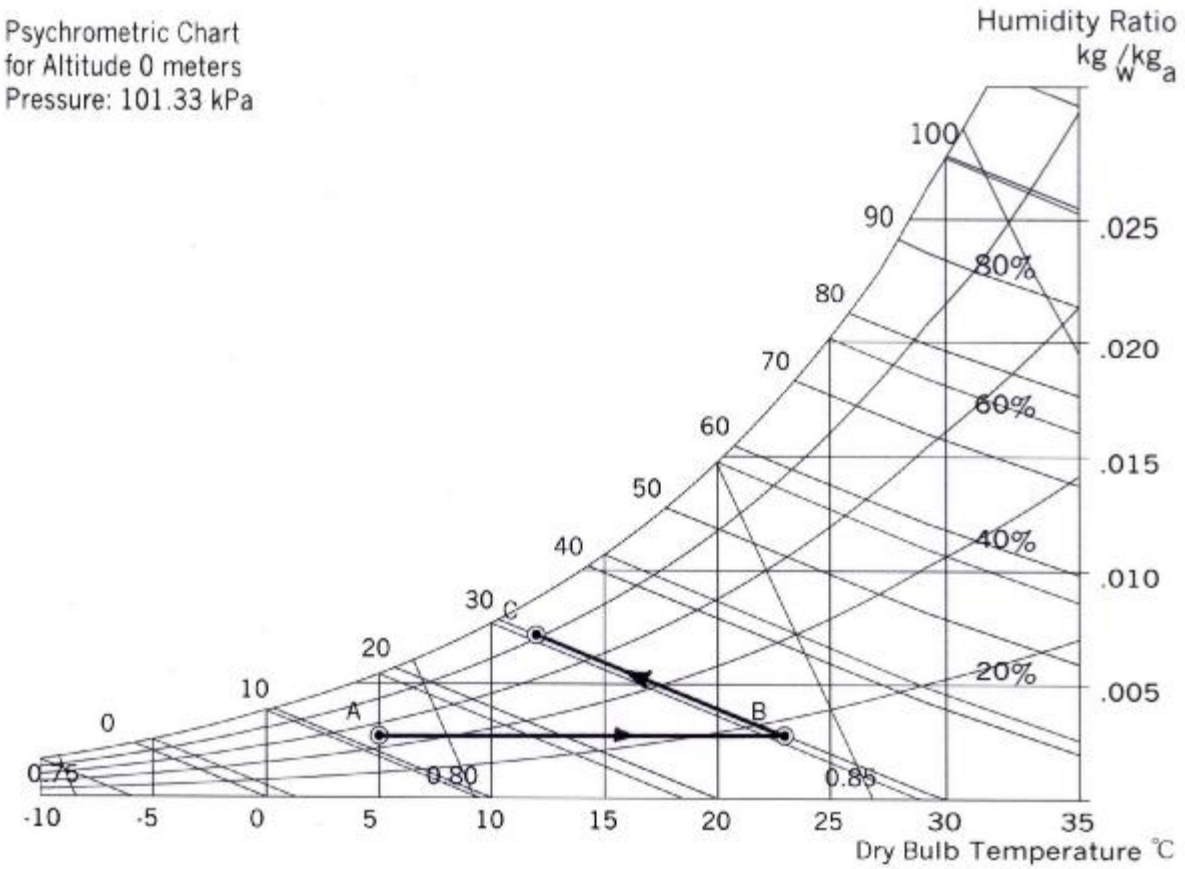
一、 水霧加濕 概述

水霧加濕即是直接利用常溫水並藉由技術方法，直接提高空氣含水率的一種方式。主要是將噴嘴或超音波震盪器所霧化之小顆粒水滴，分佈於空調箱或風管中而與空氣直接混合。此小水滴會以直接熱交換方式大量吸收空氣中的顯熱 (水的蒸發潛熱約爲 584.3 kcal/kg Dry Air at 23℃；而空氣的熱焓僅有 29.86 kj/kg 即 7.13 kcal/kg Dry Air at 23℃ @15.52%RH)，最後小水滴會氣化爲氣態水成爲空氣的一部份，而空氣乾球溫度則因熱焓大量被水吸收而大幅下降。 由大氣圖可知，每增加 10%RH 相對濕度可降低溫度 1.0~3.0℃。因此，水霧加濕可降低大量冷氣負載來減少電力消耗，即省錢。

在水霧加濕過程中，水的汽化潛熱來自空氣顯熱，又常溫液態水的熱焓量相對於氣態水之熱焓量是很小的，空氣在水霧加濕後空氣總熱焓幾乎維持不變。所以液態水汽化的熱焓對於空氣總熱焓之增加貢獻不大；因此水霧加濕又稱「**等焓加濕**」。

如圖 1.1，A 點將 5℃@50%RH 加熱到 B 點 23℃，此時之熱焓由 11.43 kj/kg 上升到 29.98 kj/kg，再由 B 點以 15℃之水霧直接加濕到 82.84%RH，很明顯的溫度由 23℃大幅下降到 12℃，其熱焓由 29.98 kj/kg 上升到 30.18 kj/kg 並無多少變化。另若計算其增加之熱焓值可由含水率差乘以水之熱焓得到，如 (0.0072－0.00275)kj/kg ×15kcal/kg ×4.186kj/kcal＝0.28067 kj/kg，再與 23℃時之熱焓相比，約爲 106：1。所佔比例非常小，影響不大。由上例可知爲什麼水霧加濕又稱爲等焓加濕。

圖 1.1



State Point Data

State Point	Dry Bulb ℃db	Wet Bulb ℃wb	Dew Point ℃dp	Relative Humidity %RH	Humidity Ratio kgw/kga	Specific Volume m^3/kg	Enthalpy kJ/kg
A	5.00	1.33	-4.10	50.00	0.00270	0.79	11.78
B	22.98	10.40	-3.81	15.91	0.00276	0.84	30.01
C	12.00	10.32	8.91	81.69	0.00714	0.82	30.02

外氣溫度若處於高溫低濕時，例如沙漠地區，可使用水霧加濕方法來提高空氣濕度並可**大幅降低空氣溫度**以提高生活舒適度，具有節省能源優點，因此非常適合應用於半導體廠、紡織廠、化纖廠、水果及蔬菜冷藏…等等需要大量加濕且需低溫高濕之環境。但外氣溫度若處於低溫低濕時，例如台灣的冬天，則須先預熱空氣，大幅提高空氣之乾球溫度進而增加空氣熱焓量，才能再以水霧加濕的方法達到提高空氣濕度的目的，使空氣達到最適含水率因爲空氣溫度低，其熱焓量低，所以傳熱效能差，水珠需汽化時間變得比較長、吸收距離也長，若沒有足夠的熱焓，則水珠便會愈來愈大因而結露，所以在使用水霧加濕時，需注意有無足夠之熱焓提供及相對需求吸收距離。因此，若無適當之廢熱來源而必須完全仰賴電能加熱來提高空氣溫度(熱焓)時，則不但無法節約能源，反而將更形浪費能源及成本支出，應用時須多加考量這個問題及相關成本。

水霧加濕除了要注意提高空氣熱焓以外，尚有四個重點：

1. **吸收距離是否預留足夠空間。**
2. **水珠顆粒大小。**

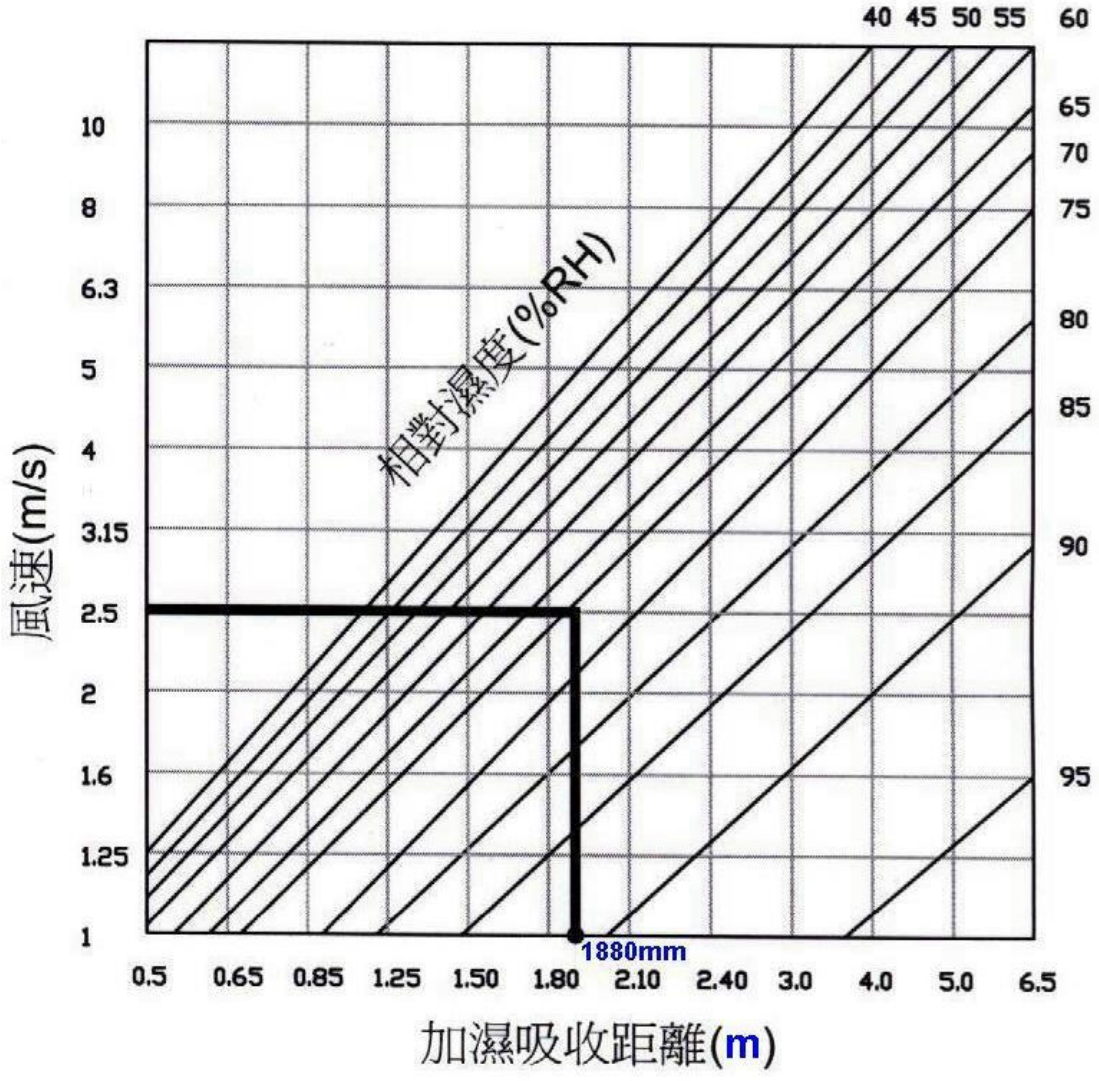
3. **噴嘴分佈配置是否恰當。**
4. **可否比例式控制加濕量。**

※ **吸收距離**：蒸汽加濕所稱之吸收距離爲噴嘴出口到第一個阻礙物而不結霧的直線距離；而水霧加濕所稱之吸收距離爲噴嘴到除水板或第一個阻礙物，所需求的出風濕度之最短直線距離。兩者含義不同，需特別注意。

1. 吸收距離是否預留足夠空間：

水霧加濕之吸收距離是以控制空調箱出風濕度而設計，即如要求 72%濕度，由已知風量及空調箱截面積可計算出風速，如 2.5m/s。如圖 1.2 由 72%濕度與風速之交叉點往下找出 1.88m 即爲其吸收距離。所以需要預留 1.88m 長之空間以利水珠蒸發成汽態水，但是噴霧器製造之水珠顆粒有大有小，小的顆粒在 1.88m 內即被空氣吸收，但是較大之顆粒則被計劃安裝於後段之除水板或阻礙物給阻擋濾除，所以即使增加再多的霧化水到空氣中也無法提高濕度，亦即不能應付高於設計值之濕度。

圖 1.2 水霧加濕 吸收距離圖



2.除水板：

除水板主要目的爲將較大顆粒的水珠濾除。一般分爲板狀或網狀，作前後間隔或多層排列。主要利用牛頓第一運動定律(慣性定律)將水珠的動能降低以阻擋撞擊或吸附方式使水珠附著於板片上或網板上，再加以道引排除。爲何在水霧加濕設計上需加以安置除水板；而蒸汽加濕系統沒有呢？因爲水霧化再小還是水，在物理特性上需要一定的能量轉換才能變成汽態水(能量不滅定律)，所以需要一些時間來完成此一能量轉換。因此時間乘以風速即等於距離。當水珠顆粒愈小則距離愈短，水珠愈大則距離愈長，其相差距離爲水珠直徑比之立方倍數除以表面積(D_{32})。爲防止水珠在風管中結露、滴水，所以在加濕器後一段距離必須加以除水板以濾除水霧中之較大顆粒水珠，以防止空調設備後段結露造成危害。

3.水珠顆粒大小及分佈配置：

水珠顆粒大小決定被吸收速度，所以水霧加濕之重點即是水霧中顆粒的體積大小與分佈。也之所以一定要有「容積粒徑粒子數平均分佈圖」以茲比較即 D_{32}，如下所附參考圖。其中以容積分佈圖較粒子數量分佈圖來得重要及實際。液滴蒸發之主要影響因子爲：

1. 液滴之體積大小： $V = 4\pi r^3 \div 3$
2. 熱傳面積大小：$S = 4\pi r^2$

在其他條件不變下，1 顆 100 Microns(微米)水珠，其體積爲 1 微米水珠的 1,000,000 倍，而面積爲 1 微米水珠的 10,000 倍。相乘除的結果 100 微米水珠之吸收距離即爲 1 微米水珠的 100 倍，差異極大，爲求短的吸收距離就必須得到較小之霧化粒子。由此可知，影響水珠蒸發的因子爲水珠與空氣接觸面積大小，所以一定要看其容積分佈圖表才比較準確。一般廠商所提供的一定是粒徑粒子數量分佈圖即 D_{10}，因爲小顆粒佔有率很高，而大顆粒佔有率很少，因爲其以百分比來表示，所以無法在圖表上顯示出來。因此，顯現出來的圖表很漂亮；但如要求提供容積(Volume)粒徑粒子數量分佈圖，不是無法提供、就是效果不佳的圖表。如附圖 1.3，1.4 均爲同一資料但爲何差異如此之大，非常值得詳加解說。圖 1.4 爲粒徑粒子數量分佈圖可看出 Particle size 均介於 0.1~1.0 微米間，但圖 1.3 噴霧容積粒徑粒子數分佈圖則顯示容積介於 10~100 微米。那是因爲在圖 1.4 有大顆粒子，但因數量很少，在圖中無法顯示出來，所以看不到。但如經立方倍再除以平方倍以後就顯現出來了，整個分佈向右大幅偏移，由此可以知道，僅提供 Particle Size 的粒徑粒子數量分佈圖是較無意義的，亦無法真正判定液滴蒸發成氣體所需時間及噴頭品質的好壞。

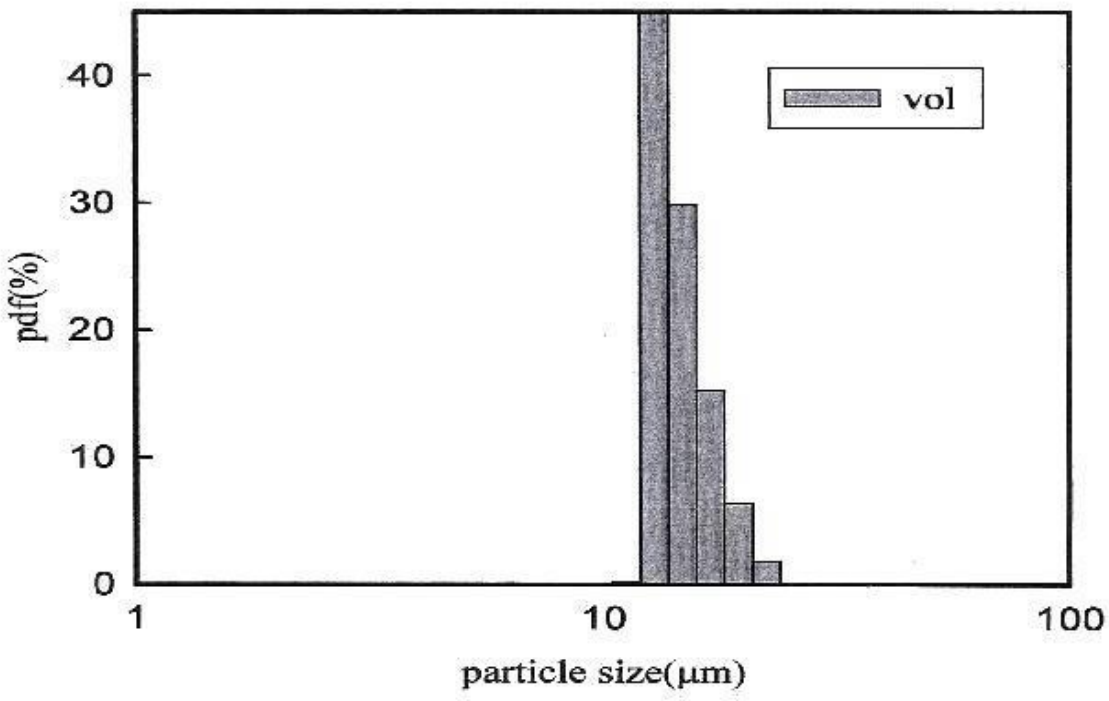


圖 1.3　H-1 噴嘴之噴霧容積粒徑粒子數量 分佈圖
P_w=5kg/cm^2，P_{air}=6kg/cm^2，h=3.0mm

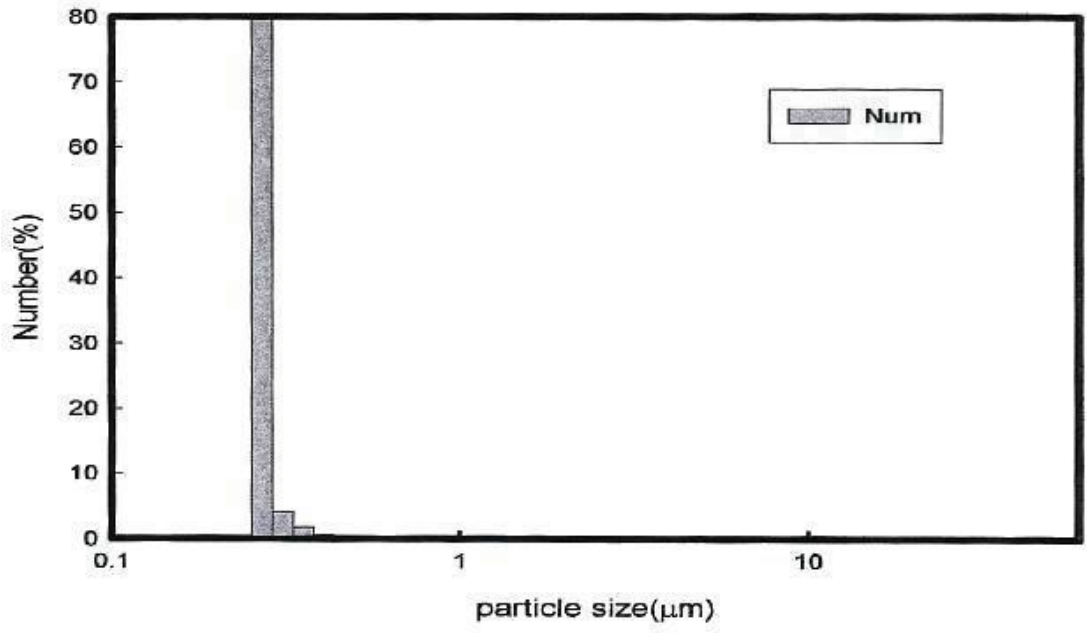


圖 1.4　H-1 噴嘴之噴霧粒徑粒子數量 分佈圖
P_w=5kg/cm^2，P_{air}=6kg/cm^2，h=3.0mm

4. 可否比例式控制加濕量：

比例式輸出控制對水霧加濕是一種考驗，一般廠商均聲稱可接受 4~20 mA 或 2~10V 之比例控制訊號，但深入瞭解其結構設計後，則發現其加濕輸出並非比例式，而是 On-Off 式控制。由於 On-Off 式之控制方式無法達到現代精密之空調控制要求(這點非常重要)，所以如果碰到可接受比例訊號的儀器或設備，就號稱可做比例式輸出功率時，必須詳加了解，以免被誤導。

爲什麼說比例式輸出控制對水霧加濕是一種考驗？如常用之電子式超音波，其所依靠的即是利用頻率振盪子來產生固定高頻率之音波，使水在水的表面產生高頻之撞擊，因而產生水霧。太高頻或低頻其產生量均會減少，一般而言，頻率愈高，粒徑愈小，但水霧量也愈小，因此通常都以固定的高頻率爲其產生方式。

超音波二相流噴霧其最佳霧化效率在空氣壓力大於水壓約 1.0 ~ 1.5 kg/cm^2 左右。空氣壓力若太高，則水霧量變得很少，效率較低，因爲空氣佔據了大部份的流體通道，並阻礙了水流；因而水量會隨著空氣壓力愈高而減少，甚至沒有水霧噴出。空氣壓力若太低，則霧化效果非常差。所以，僅靠控制水量來作比例控制是不夠的，如何以簡便的程序及設備來達成空氣壓力與水壓成固定壓差及水流比例式控制輸出，則變得相當重要。

6. 粒徑粒子數量分佈圖(D_{10})：

以百分比柱狀圖表示，意指在一定時間所偵測到之粒子數量以其粒徑大小做一相對百分比粒狀圖表示，也由於是以百分比表示。所以，當粒徑較大且數量少於 1%之粒徑，便無法在圖上顯示出來，對追求加濕效果的空調工業來說，其對加濕效果的影響相當大，造成使用者在設計上的盲點，無法滿足水霧加濕系統設計之需求。當粒子數少而粒徑大時，其整體體積比例則會放大許多。因爲，體積相差是以立方倍來計算的。一顆 100 微米的水珠體積是 1 微米的 1,000,000 倍。所以，對二相流超音波加濕器之噴霧效果認定應以容積與面積相關之容積粒徑粒子數平均分佈圖% 爲基準。

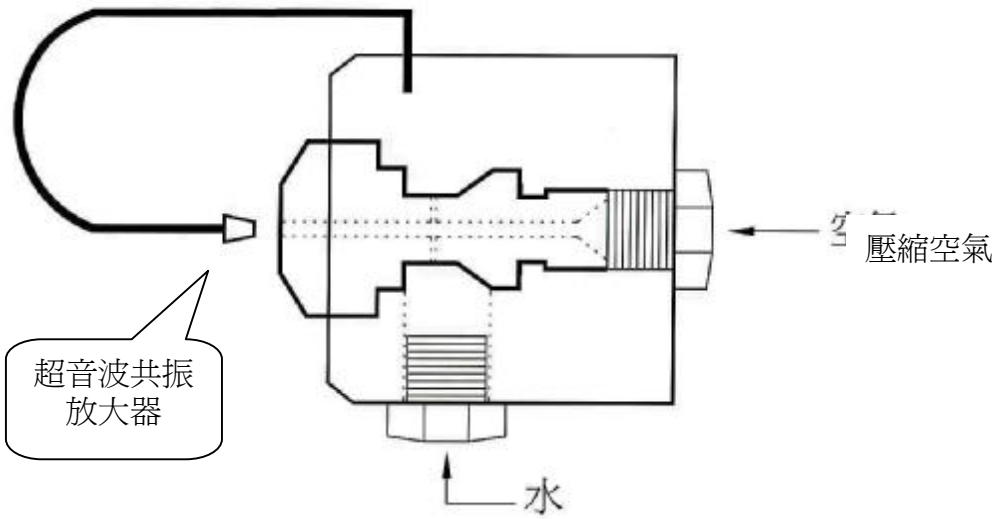
6　容積粒徑粒子數平均分佈圖(D_{32})：

以百分比柱狀圖表示，又稱爲**液滴蒸發之平均粒徑(D_{32})**：意指在一定時間所偵測出之所有粒子數的體積除以表面積分佈圖。此圖較能表達液體蒸發成氣體的時間比較圖。體積愈大，蒸發時間愈長；體積愈小，蒸發時間愈短。水珠以球體形狀與空氣做熱的傳遞，所以其熱傳的效果即爲體積與面積的對比關係。

二、 二相流超音波噴霧加濕器 概述

超音波二相流噴霧加濕器乃利用高壓空氣經過文氏管，直接撞擊水流，將水霧化。水經過霧化腔爲第一次霧化；再經出口以接近聲速之超高速度噴出已霧化之小水珠及氣泡，再直線撞擊置於前端之音波共振器並產生超音波共振現象，使已形成之微小而破碎 之水珠再次受到超音波震盪之影響，再一次將微米水珠破碎化，因而形成更多微小的水霧，爲第二次霧化。調整共振放大器前端之擋片與噴嘴之距離，可用來調整超音波之共振頻率。第二次霧化產生之高頻音波與共振腔間利用音波反射原理，增強音波之能量，並利用此一超音波能量打破水珠內聚力，使水珠分散成更多量的細小微水珠，且將水霧由粒狀變成薄面狀，增大數百倍之接觸面積，使水霧可迅速易於被空氣吸收。若無超音波共振裝置，一般無法產生大量 0.1~10 微米(μ)之細小水珠。一般撞擊後會產生大量微小化之水滴，也會產生一小部份較大之水珠，所以需於加濕器後側加裝除水裝置，以防止未蒸發或水蒸汽之水珠於後段再度凝集成大水珠而造成所謂的結露現象。而其加濕總量則無限制，可大量並聯噴頭使用，或提高水源壓力以得到較高之單位噴水量及效率。

若使用於高溫低濕之狀態，水霧加濕會使含水率提高、溫度大幅度降低，可大大降低冷凍機之負載。但若於低溫低濕時使用，則恰好相反；因爲必須利用電熱或其他熱源將空氣溫度大幅提高(熱焓提高)以後再進行加濕工程，才能達到所需求濕度，甚至需要二次加熱以符合恆溫之要求；反而比蒸汽加濕消耗更多能源更不經濟，因爲其需要大量之輔助霧化用壓縮空氣能源；除非可以找到經濟可利用之高溫廢熱當其熱源，以遞減其消耗空氣能源費用，或使用可比例式控制之水霧加濕系統。

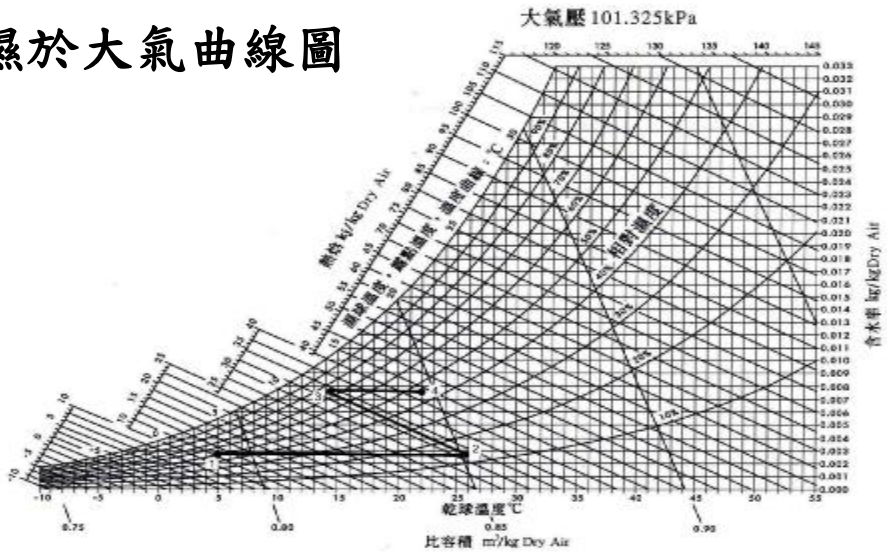


三、 水霧加濕的方法

台灣地處亞熱帶，夏天高溫高濕，可利用水霧加濕將溫度大幅降低，或利用空氣調節將空氣冷卻來降低溫度，以提高人員生活舒適度及工作品質。但長時間使用空氣調節冷卻空氣降低溫度的同時，也附帶的降低了室內空氣中的相對濕度(含水率)，如醫院或辦公室，造成人員需多喝水或將水直接沾或塗在嘴唇及皮膚上，以防乾裂或脫水。冬天則可能會出現低溫低濕的氣候，特別是大陸冷高壓南下時會帶來又乾又冷的空氣，此時空氣調節便需要進行空氣加濕。工程應用上，冬天使用水霧加濕時，外氣需先預熱至 26~35℃或更高，經水霧加濕後再二次加溫才送入潔淨室內，以達到潔淨室恆溫恆濕的要求。冬天空氣加濕的程序說明可參見下列所附「水霧加濕程序表」及「水霧加濕於大氣曲線圖」。

加 濕 程 序 表	說 明
5℃DB，50%RH ↓ 空氣預熱 26~35℃ ↓ 水霧加濕 14.5℃，72%RH ↓ 再加熱空氣 送至潔淨室 潔淨室設計條件 22℃，45%RH	1. 假設外氣條件 2. 提高空氣乾球溫度，增加空氣熱焓，空氣相對濕度因而降低，但空氣含水率不變。 3. 將水霧加濕器所產生之微霧化小水珠，直接分佈於空氣中進行加濕。水分子吸收大量之潛熱焓而汽化，再與空氣完全混合，因而提高空氣含水率，但空氣溫度卻因而大幅降低。 4. 將低溫高濕之空氣再一次加熱，使達到設定溫度，以利恆溫控制。

水霧加濕於大氣曲線圖



四、 水霧加濕之應用考量

4.1 水滴霧化方式：

水滴霧化的作用乃爲增加水滴與空氣接觸的面積，提高小水滴與空氣的熱交換效率，以達成提高加濕效率及縮短加濕吸收距離的目的。目前產業界使用水霧加濕器的霧化方式主要有超音波二相流噴霧加濕器、超高壓水流噴霧加濕器及電子式超音波震盪加濕器等三種。

1. **超音波二相流噴霧加濕器**：需要使用壓縮空氣來輔助水的霧化，水流量較大且粒徑較小，適合大量加濕環境使用。
2. **超高壓水流噴霧加濕器：**乃將水直接加壓到 50 或 100kg/cm^2 之超高壓力，經由一細孔噴出，流量也非常大，但粒徑較大，約在 25~50 微米之間，水流高速通過小噴孔，噴嘴耗損率較高。
3. **電子式超音波震盪加濕器：**利用低能量電子高頻振盪將水的內聚力打散再用風扇將水霧吹出，單位產生量較小，單位成本較高僅適合於小容量之加濕。一般使用振盪頻率約爲 1.65MHz，且頻率愈高所產生的霧粒子愈細小，唯水霧量也愈少。

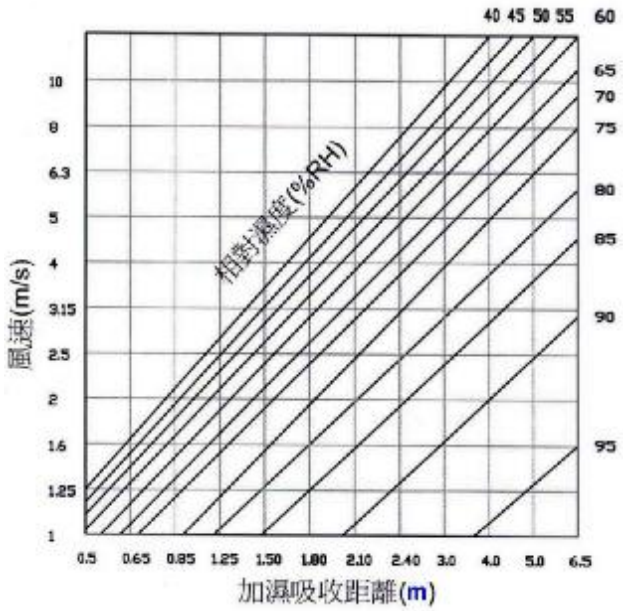
4.2 加濕能力(量)：

即指加濕器可提供的最大霧化水量，影響因子爲加濕器水滴霧化之顆粒大小(水滴霧化能力)、粒徑分佈情形及單位時間水霧量。

4.3 水霧加濕吸收距離：

水霧加濕吸收距離受水滴霧化顆粒大小、分佈排列、空氣溫度、空氣流速及空氣相對濕度等因子的影響。水霧加濕距離的大小可依空氣流速及空氣加濕後的相對濕度，藉由圖 4.1 求得。

圖 4.1 水霧加濕 吸收距離圖



※ 空氣溫度條件：18~24℃

4.4空氣預熱能力：

冬天低溫低濕環境下，外氣空調箱使用水霧加濕方式調節外氣，必需考慮熱排對空氣的預熱能力及是否有足夠的揮發吸收距離，否則難以達成加濕目的。

1. 如空氣熱焓不足，即使霧化水珠顆粒再細、吸收距離預留再長，亦無法汽化。最終將結露於空調箱及風管中。
2. 參考上圖，如吸收距離不足，多餘的水珠將被阻礙物阻擋而結露於阻礙物上面而無法汽化，造成噴水量愈多結露愈多，甚至造成整條風管滴水，而相對濕度卻無法提高之窘況。如果空調箱及風管長期處於潮濕情況下，容易孳生細菌而成爲病菌溫床，並使輸送出之空氣含有大量有害病菌，因而造成危害。

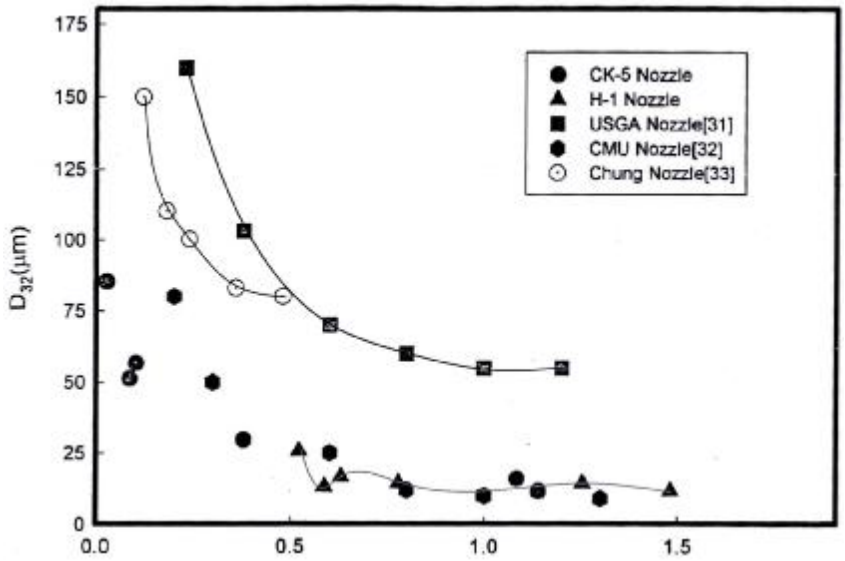
4.5 輔助霧化之壓縮空氣消耗量：

氣體輔助霧化之霧化特性均以氣、液質量比爲主要控制參數，增加霧化空氣量能降低噴霧粒子平均粒徑。平均要在氣、液質量比(τ)達到 1.0 時，才有最佳之霧化效果，如圖 4.2。但其霧化特性曲線會漸趨平緩。因爲利用壓縮空氣提供大量動能，用來克服液體本身的表面張力及內聚力並產生霧化效果，但氣流在接近聲速時會產生阻流現象(choke flow)，無法再大幅度提高流體之相對速度及動能。亦即在氣、液質量比(τ)接近 1.0 時，阻流已逐漸形成，此時 τ 再增加已無法再將粒徑減小。

爲進一步了解此類霧化器之霧化特性隨氣流質量比之變化情形，如圖 4.2 將幾種霧化器之噴霧平均粒徑 D_{32} 加以比較，圖中比較下列 5 種霧化器：

1. H-1 霧化器 (超音波二相流內混式霧化器)
2. CK-5 霧化器 (超音波二相流內混式霧化器)
3. USGA 霧化器 (A. Mansour 所研究之超聲波氣體衝擊式霧化器)
4. CMU 霧化器 (N. Chigier 之線性二維霧化器的氣衝式霧化器)
5. Chung 霧化器 (張永照之煙氣脫硫超聲波霧化器)

圖 4.2 噴霧平均粒徑 D_{32} 隨氣液質量比之關係圖



$\tau = m_a/m_w$

(CK-5、H-1、USGA、CMU、Chung Nozzles)

由上圖可發現，噴霧平均粒徑均有隨著氣液質量比的增加而減小的趨勢。例如 USGA 霧化器，當氣液質量比從 $m_a / m_w = 0.23$ 增加至 1.20 時，噴霧粒子平均粒徑從 SMD = 160μm 降至 55μm；CMU 霧化器，則當氣液質量比從 $m_a / m_w = 0.20$ 增加至 1.30 時，噴霧粒子平均粒徑從 SMD = 80μm 降至 9μm；而 Chung 霧化器，則當氣液質量比從 $m_a / m_w = 0.18$ 增加至 0.48 時，噴霧粒子平均粒徑從 SMD = 150μm 降至 55μm。由以上結果顯示，欲得到良好的霧化效果，必需提供足夠的氣液質量比。

上圖中亦顯示，上述霧化器所產生之噴霧粒度特性大致上可歸納爲下列兩種類型：茲定義氣液質量比 $m_a / m_w = R$。

1. 細微霧化之霧化器：如 H-1，CK-5，CMU 等霧化器，其噴霧粒度可達 10μm 之範圍。其噴霧平均粒徑與氣液質量比的關係式爲：

$$D_{32} = 80.6741e^{-2.0258R}$$

2. 粗粒度霧化之霧化器：如 USGA，Chung 等霧化器，其噴霧粒度則僅達 55μm 之範圍。其噴霧平均粒徑與氣液質量比的關係式爲：

$$D_{32} = 156.4551e^{-1.1645R}$$

4.6 常用粒徑定義表：

Mean Diameters and Their Applications

a	b	a + b (order)	Symbol	Name of mean diameter	Expression	Application
1	0	1	D_{10}	Length	$\frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i}$	Comparisons
2	0	2	D_{20}	Surface area	$\left(\frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i}\right)^{1/2}$	Surface area controlling
3	0	3	D_{30}	Volume	$\left(\frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i}\right)^{1/3}$	Volume controlling, e.g. hydrology
2	1	3	D_{21}	Surface area-length	$\frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i d_i}$	Absorption
3	1	4	D_{31}	Volume-length	$\left(\frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i}\right)^{1/2}$	Evaporation, molecular diffusion
3	2	5	D_{32}	Sauter (SMD)	$\frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2}$	Mass transfer, reaction
4	3	7	D_{43}	De Brouckere or Herdan	$\frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3}$	Combustion equilibrium

$$D_{ab} = \left(\frac{\sum n_i d_i^a}{\sum n_i d_i^b}\right)^{1/(a-b)}$$

where *i* denotes the size range considered, *ni* is the number of drops in size range *i*, and *di* is the middle diameter of size range *i*.

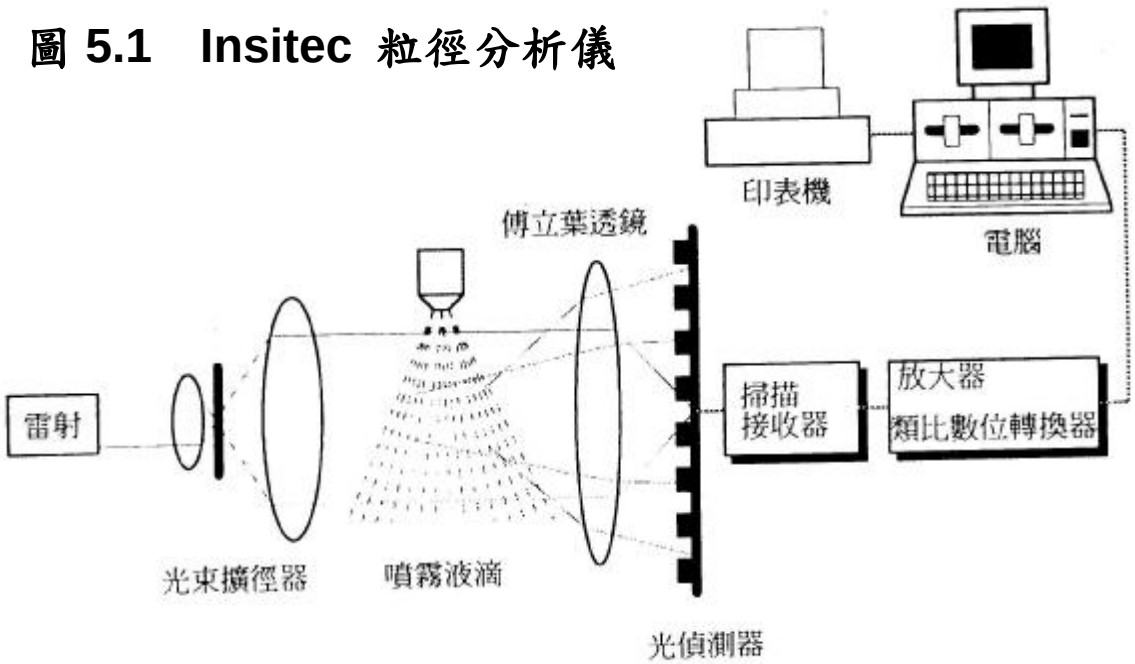
五、 粒子量測方法

量測儀器：Insitec 粒徑分析儀

圖 5.1 爲 Insitec 粒徑分析儀的裝置簡圖，其原理是由一部 2.6mV 氦-氖(He-Ne)雷射產生紅色的雷射光，經過光束擴大器(Beam Expander)將雷射光束擴大成直徑 10mm 的平行光後，穿過噴霧流場中的液滴產生散射光，經由傅立葉透鏡(Fourier Lens)收集後通過光檢測器(Photo Detector)。光檢測器由 31 道環狀光強度感應器所組成。可偵測不同粒徑分佈產生的散射光，光訊號經由固態晶體轉換成電子訊號，再經放大後透過類比數位訊號轉換器(A/D Converter)轉換光訊號傳送到個人電腦上，由軟體來運算處理。使用此一儀器不但可以省去對焦的麻煩，更因傅立葉透鏡將平行光聚焦於同一點的特性，可以不必考慮位置不同所造成的困擾。

利用 Insitec 量測流場有一些優點，就是它具有操作簡單、量測速度快、涵蓋粒徑範圍可以廣達 0.5um~1000um 等優點，但相對也有一些缺點；如空間解析度較低、粒徑與速度分佈差異較大時，也會有較大的誤差產生等缺點；本次實驗是先利用 Insitec 雷射粒徑分析儀，量測霧化器掛上衝氣罩後霧化流場大致的品質。而所用的傅立葉透鏡焦距爲 450mm，有效量測粒徑範圍分佈介於 0.5um~1000um，霧化器位置到傅立葉透鏡間的距離爲 40cm，這是爲了避免產生量測不全的效應(Cut-off)。每一次量測固定時間後平均，量測的原始值是以 Model-Independent 方法分析，實驗時需特別注意到，不可使噴霧液滴弄濕透鏡，否則會影響結果。

圖 5.1 Insitec 粒徑分析儀



六、 二相流超音波噴霧加溼器，超高壓水流噴霧加濕器與電子式超音波震盪加濕器之比較

產品別 / 項 目	二相流超音波噴霧加溼器	超高壓水流噴霧加濕器	電子式超音波震盪加濕器
產霧能力	較大	大	小
噴霧效率	高	高	低
噴霧粒徑	較小	大	小
水質要求	5*u* 以上過濾水	5*u* 以上過濾水	純水
操作水壓要求	2~5 bar	100~200 bar	0.5 bar 以上
高壓馬達	無	需要	無
壓縮空氣	3~6 bar	無	無
噴頭(震盪)使用壽命	長	耗材	短
基本控制方式	比例式 或 On-Off 控制	On-Off 控制	On-Off 控制
比例式控制方法	控制水流量及控制水流與空氣壓力差。 直接作比例式控制	時間比例式 (Time Proportional) 以控制單位時間之長短	時間比例式 (Time Proportional) 以控制單位時間之長短
購置成本 10kg/hr 以下	中	高	中
購置成本 20kg/hr 以上	低	高	非常高

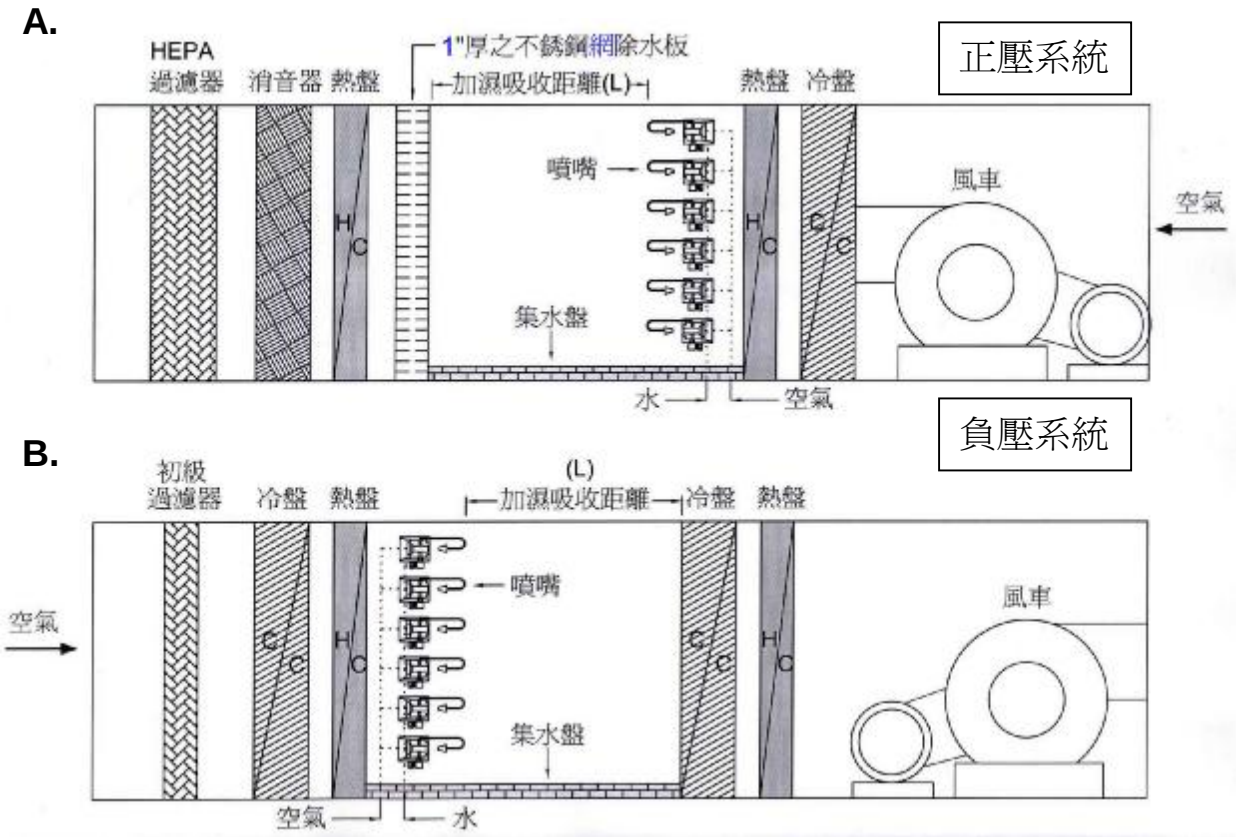
七、 水霧加濕的使用時機

水霧加濕之特性在於等焓加濕，由大氣曲線圖可得知。當在進行水霧加濕工程時，乾球溫度會急速下降，所以在高溫低濕的外氣條件下是適合使用水霧加溼器了，不但可提高空氣中相對濕度，更可降低溫度，可節約大量冰水機(空調機)之熱負載或耗電量及獲得舒適之工作環境，一舉數得。因此，水霧加濕器非常適合應用於低溫高濕的化纖抽絲廠區、低溫冷藏之水果、蔬菜保鮮、高溫高濕之熱帶雨林實驗場、恆濕恆溫之半導體廠或潔淨室、低溫高濕之藝術品保存…等等需要加濕的環境。其他像是藝術造景、人造雪…等等都是可應用水霧加濕器的特殊時機。

八、 水霧加濕系統

8.1 超音波二相流噴霧加濕系統：可於風管及空調箱內加濕或於空間直接進行空氣加濕。可參見下面所附配置圖。

圖 8.1 空調箱水霧加濕 配置圖



8.2 超音波震盪加濕系統：可於風管及空調箱內加濕或於空間直接進行空氣加濕。其安裝要求亦同超音波二相流噴霧加濕系統，唯其加濕能力較小，單位所佔空間較大。一般應用於室內，直接小量加濕。

九、 水霧加濕系統設計實例

9.1 設計條件：

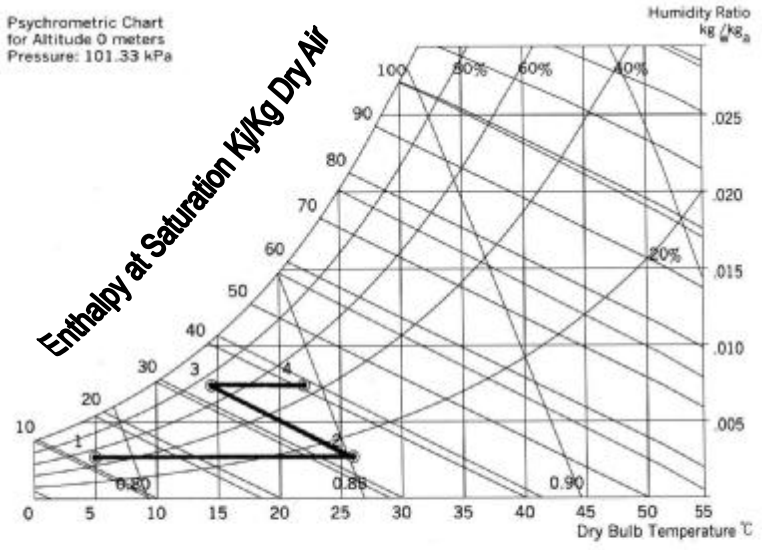
外氣量：	100,000 CMH
假設外氣條件：	5℃DB，50%RH
潔淨室設計條件：	22℃，45%RH
空調箱尺寸：	3000mm(W) x 3800mm(H)
空氣流速：	2.5 m/sec

9.2 加濕量計算：

外氣空氣含水率：	5℃DB 與 50%RH = 0.00270 kg/kg DA
潔淨室空氣含水率：	22℃，45%RH = 0.00742kg/kg DA
空氣含水率差異：	= 0.00742 – 0.00270 = 0.00472 kg/kg DA
空氣量：	=100,000 M^3/Hr÷[(0.79+0.85)÷2] M^3/kgDA=121,951 kg/hr DA
加濕量：	= 121,951 kg/hr DA × 0.00472 kg/kg DA = 575.6 kg/hr

9.3 水霧加濕系統設計：

潔淨室設計條件：	❙ 22℃，45%RH 之空氣含水率約同於 73.79%RH，14.13℃.D.B. (如下圖示之點 3)。
外氣預熱及水霧加濕：	❙ 外氣 5℃DB 及 50%RH (如下圖示之點 1) ❙ 外氣先預熱至 26℃DB(如下圖示之點 2) ❙ 水霧加濕提高含水率至 73.79%RH，14.13℃DB (如下圖示之點 3)
空氣加濕後：	❙ 二次加熱再送至潔淨室，空氣乾球溫度上升至 22℃DB，相對濕度則下降至 45%RH(如下圖示之點 4)



State Point Data

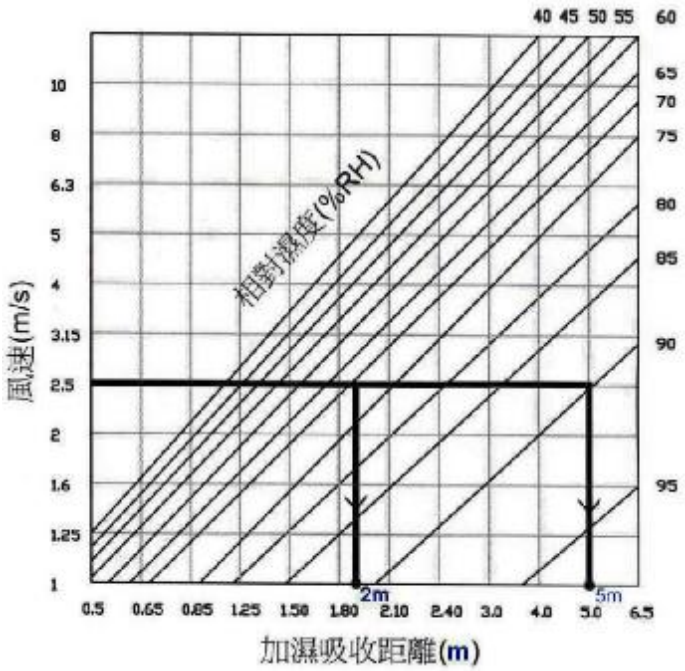
State Point	Dry Bulb ℃db	Wet Bulb ℃wb	Dew Point ℃dp	Relative Humidity %RH	Humidity Ratio kgw/kga	Specific Volume m^3/kg	Enthalpy kJ/kg
1	5.00	1.33	-4.10	50.00	0.00270	0.79	11.78
2	26.00	11.62	-4.11	12.97	0.00270	0.85	32.88
3	14.13	11.52	9.46	73.79	0.00742	0.82	32.88
4	22.00	14.64	9.46	44.98	0.00742	0.85	40.85

9.4 註解：

DA = Dry Air = 乾空氣。常用表示單位：SCMH (M^3/HR)
DB = Dry Bulb = 乾球溫度。常用表示單位：℃db
WB = Wet Bulb = 濕球溫度。常用表示單位：℃wb
DP = Dew Point = 露點溫度。常用表示單位：℃dp
RH = Relative Humidity = 相對濕度。常用表示單位：%RH
Humidity Ratio = 含水率。常用表示單位：Kg_w/Kg_a
Specific Volume = 比容積。常用表示單位：M^3/Kg
Enthalpy = 焓。常用表示單位：Kj/Kg

9.5 水霧加濕吸收距離：依空氣流速 2.5m/sec 及假設空氣經水霧加濕至 72% RH 二項條件，由下圖得知水霧加濕吸收距離需求爲 2000mm (2.0M)。此 2.0M 爲可使送風空氣達到 72%RH，假若送風之濕度爲 90%RH 則加濕吸收段距離需求爲 5.0M。

水霧加濕 吸收距離圖



9.6 水霧加濕後段設計：一般均會加一個除水板，以濾除未汽化之水份，以防後段的設備附著大量水珠或造成風管滴水。使用電子式超音波或二相流超音波加濕器所產生之水霧，無論如何的微小，仍爲液態的水珠，需經過流暢的熱焓轉換才能變成汽態水。這熱能的轉換需要一定的時間及一定的熱焓缺一不可。所以在加濕前須先預熱空氣以提高可轉換之熱能，而需求愈高的送風濕度，就要愈長的蒸發時間和愈長的吸收距離。

十、 Best A/V 與美國某 C 廠牌噴霧效果比較表

10.1 測試環境：空氣壓力 5 kg/cm^2，水壓力 4 kg/cm^2。

10.2 符號說明：

1. 噴霧平均粒徑(液滴蒸發之平均粒徑)D_{32} 又稱爲 Sauter Mean Diameter (SMD)，其定義爲：指液滴之體積與表面積比，請參考下面公式。常用做評估該噴嘴良窳之指標；亦作爲噴嘴品質佐證數據。

$$D_{32} = \frac{\sum_{i=1}^{N} n_i d_i^3}{\sum_{i=1}^{N} n_i d_i^2}$$

2. 若噴霧粒徑分佈機率函數爲 $f(d_i)$ 累積分佈函數爲 $F(d_i)$ 其中，

$$F(d_i) = \sum_{i=1}^{i} f(d_i)$$

故 $D_v(10)$爲 $F[D_v(10)] = \sum_{i=1}^{i} f(d_i) = 10\ \%$

即累積分佈函數 $F(d_i) = 10\ \%$ 時之粒徑

$D_v(50)$爲 $F[D_v(50)] = \sum_{i=1}^{i} f(d_i) = 50\ \%$

即累積分佈函數 $F(d_i) = 50\ \%$ 時之粒徑

10.3 圖 10.1： Best A/V 之 H2 噴嘴 與 美國某 C 廠牌噴嘴 之原始數據。

10.4 圖 10.2： Best A/V 之 H2 噴嘴 與 美國某 C 廠牌噴嘴 之噴霧粒子數。

10.5 圖 10.3： Best A/V 之 H2 噴嘴 與 美國某 C 廠牌噴嘴 之噴霧品質。

10.6 圖 10.4： Best A/V 之 H2 噴嘴 與 美國某 C 廠牌噴嘴 之噴霧特性。

10.7 由上述及下列所附圖表及統計數據可看出噴霧品質的幾個重點：

1. 粒子數大小柱狀圖，不能很清楚的表示噴嘴品質。
2. 噴霧品質以 D_{32}(SMD)圖表示。
3. D_{32} 值愈大，表示蒸發時間愈長，亦指加濕距離愈長。
4. 美國某 C 廠牌噴嘴之霧化品質 ***D_{32} = 22.27***；而
   Best A/V H2 噴嘴之霧化品質 ***D_{32} = 8.47***。

圖 10.1：Best A/V 之 H2 噴嘴 與 美國某 C 廠牌噴嘴 之量測原始數據。

Best A/V H2 噴嘴之原始數據

Average Particle Size Distribution 2001/6/21 13:46:05.4720 - 13:46:05.4980
Valid Data Record
Material : water Lot : 1

Size (um)	% <	% in	Size (um)	% <	% in	Size (um)	% <	% in
0.287	0.01	0.01	4.56	7.92	1.96	72.33	100.00	0.00
0.330	0.02	0.01	5.23	10.72	2.80	83.06	100.00	0.00
0.378	0.05	0.03	6.01	14.45	3.73	95.37	100.00	0.00
0.435	0.11	0.05	6.90	19.38	4.93	109.51	100.00	0.00
0.499	0.20	0.09	7.92	25.66	6.28	125.74	100.00	0.00
0.573	0.32	0.13	9.10	32.80	7.15	144.38	100.00	0.00
0.658	0.43	0.10	10.44	41.00	8.19	165.79	100.00	0.00
0.755	0.47	0.05	11.99	50.46	9.46	190.37	100.00	0.00
0.867	0.53	0.05	13.77	58.94	8.48	218.59	100.00	0.00
0.996	0.67	0.14	15.81	67.47	8.53	250.99	100.00	0.00
1.14	0.78	0.11	18.16	75.06	7.59	288.20	100.00	0.00
1.31	0.93	0.14	20.85	81.64	6.59	330.92	100.00	0.00
1.51	1.11	0.18	23.94	87.07	5.42	379.98	100.00	0.00
1.73	1.35	0.25	27.49	91.24	4.17	436.31	100.00	0.00
1.99	1.68	0.33	31.56	94.41	3.17	500.99	100.00	0.00
2.28	2.05	0.36	36.24	96.68	2.28	575.26	100.00	0.00
2.62	2.55	0.50	41.61	98.38	1.69	660.54	100.00	0.00
3.01	3.36	0.81	47.78	99.53	1.15	758.46	100.00	0.00
3.46	4.46	1.11	54.86	99.93	0.41	870.89	100.00	0.00
3.97	5.98	1.50	63.00	100.00	0.07	1000.00	100.00	0.00

美國某 C 廠牌噴嘴之原始數據

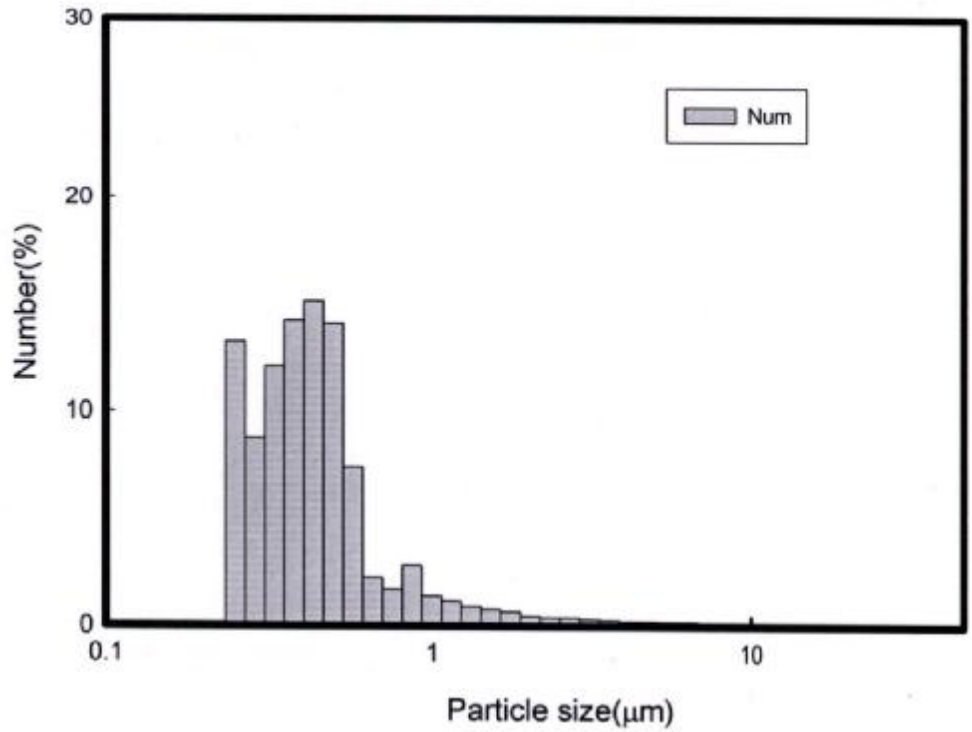
Average Particle Size Distribution 2001/6/21 14:44:26.0176 - 14:44:26.2365
Valid Data Record
Material : water Lot : 1

Size (um)	% <	% in	Size (um)	% <	% in	Size (um)	% <	% in
0.287	0.00	0.00	4.56	0.00	0.00	72.33	99.96	0.17
0.330	0.00	0.00	5.23	0.01	0.01	83.06	99.99	0.03
0.378	0.00	0.00	6.01	0.07	0.06	95.37	100.00	0.01
0.435	0.00	0.00	6.90	0.28	0.21	109.51	100.00	0.00
0.499	0.00	0.00	7.92	0.84	0.56	125.74	100.00	0.00
0.573	0.00	0.00	9.10	2.08	1.24	144.38	100.00	0.00
0.658	0.00	0.00	10.44	4.44	2.36	165.79	100.00	0.00
0.755	0.00	0.00	11.99	8.46	4.02	190.37	100.00	0.00
0.867	0.00	0.00	13.77	12.97	4.51	218.59	100.00	0.00
0.996	0.00	0.00	15.81	18.44	5.47	250.99	100.00	0.00
1.14	0.00	0.00	18.16	24.48	6.04	288.20	100.00	0.00
1.31	0.00	0.00	20.85	31.60	7.12	330.92	100.00	0.00
1.51	0.00	0.00	23.94	40.22	8.62	379.98	100.00	0.00
1.73	0.00	0.00	27.49	50.77	10.55	436.31	100.00	0.00
1.99	0.00	0.00	31.56	63.54	12.77	500.99	100.00	0.00
2.28	0.00	0.00	36.24	77.53	13.99	575.26	100.00	0.00
2.62	0.00	0.00	41.61	89.95	12.42	660.54	100.00	0.00
3.01	0.00	0.00	47.78	96.73	6.78	758.46	100.00	0.00
3.46	0.00	0.00	54.86	99.09	2.36	870.89	100.00	0.00
3.97	0.00	0.00	63.00	99.79	0.70	1000.00	100.00	0.00

※ 所有樣式及規格，本公司保有修改權利，不另行通知。

圖 10.2：Best A/V 之 H2 噴嘴 與 美國某 C 廠牌噴嘴 之噴霧粒徑粒子數量分佈圖。

Best A/V H2 噴嘴之噴霧粒徑粒子數量分佈圖(D_{10})



美國某 C 廠牌噴嘴之噴霧粒徑粒子數量分佈圖(D_{10})

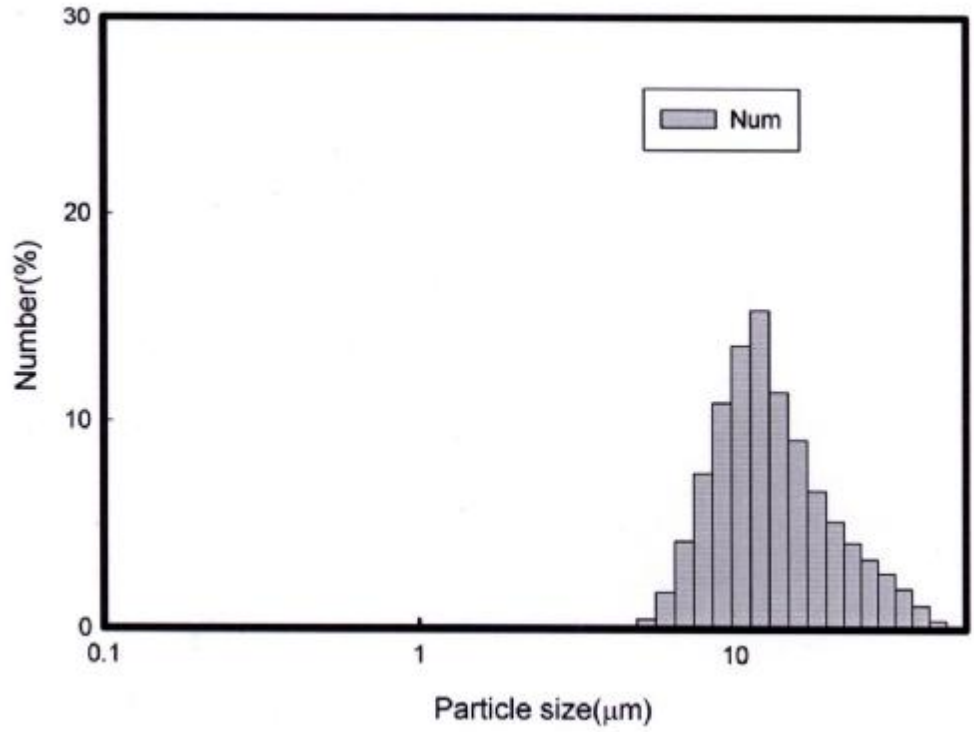
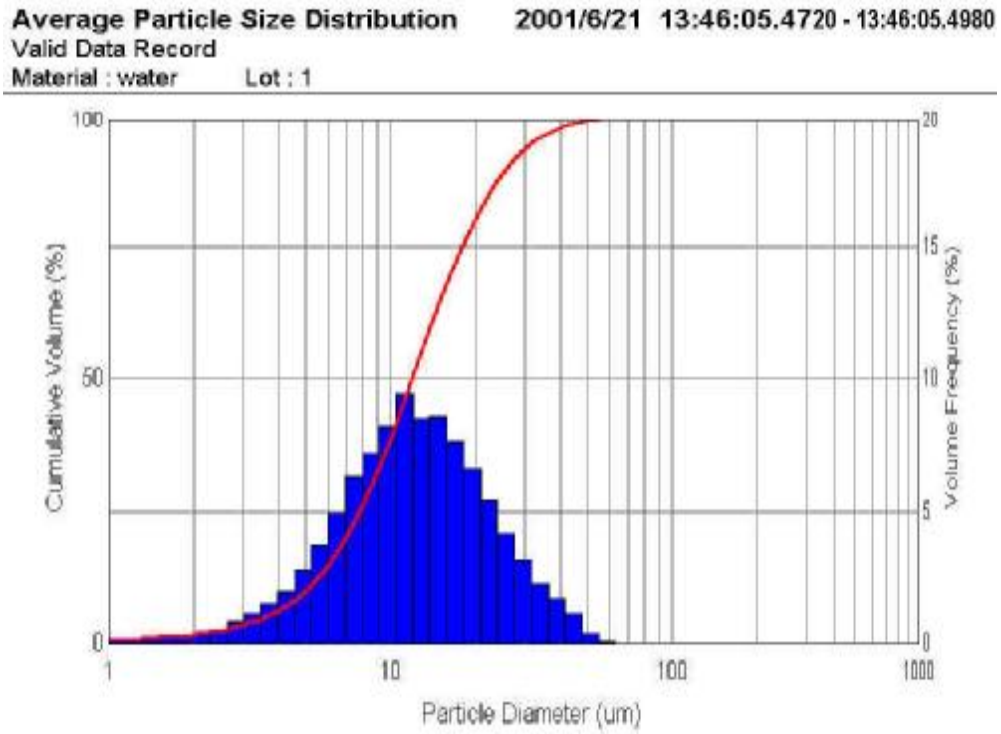


圖 10.3：Best A/V 之 H2 噴嘴 與 美國某 C 廠牌噴嘴的容積粒徑粒子數之平均粒徑(D_{32})噴霧品質。

Best A/V H-2 噴嘴之噴霧品質 (SMD = 8.49 μm, $D_v(50)$ = 11.9 μm)



美國某 C 廠牌噴嘴之噴霧品質 (SMD = 22.27 μm, $D_v(50)$ =27.2 μm)

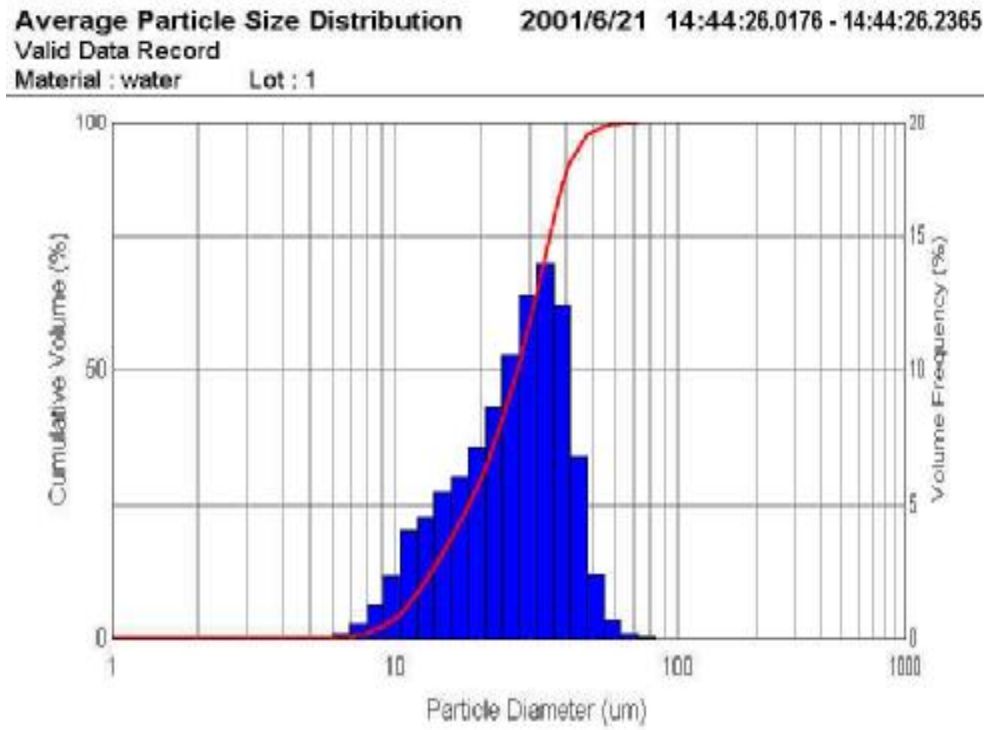


圖 10.4：Best A/V 之 H2 噴嘴 與 美國某 C 廠牌噴嘴 之噴霧量測特性。

Best A/V H-2 噴嘴之噴霧特性

Average Measurement Parameters **2001/6/21 13:46:05.4720 - 13:46:05.4980**
Valid Data Record
Material : water Lot : 1

Standard Values:

Transmission = 6.09%	Dv(10) = 5.06 (um)	Span = 1.79
Cv = 616.9 (PPM)	Dv(50) = 11.92 (um)	D[3][2] = 8.47 (um)
SSA = 0.708 (m^2/cc)	Dv(90) = 26.43 (um)	D[4][3] = 14.15 (um)

Notes:
H2 w4a5
Flash Acq : 1 Scans : 500.0 Hz : DC = 0.0% : Dur = 2.0 (ms)
5 Records Averaged (2001/6/21 13:46:05.4720 - 2001/6/21 13

Measurement Values and Settings

Path Length = 11.99 (mm)	Particulate Density = 10.00 (gm/cc)
Qe (Avg) = 2.13	Laser Wavelength = 670.0 (nm)
Pscat (Avg) = 0.80 (0.00)	Mesh Factor = 1.00

美國某 C 廠牌噴嘴之噴霧特性

Average Measurement Parameters **2001/6/21 14:44:26.0176 - 14:44:26.2365**
Valid Data Record
Material : water Lot : 1

Standard Values:

Transmission = 15.75%	Dv(10) = 12.60 (um)	Span = 1.07
Cv = 1102.3 (PPM)	Dv(50) = 27.23 (um)	D[3][2] = 22.27 (um)
SSA = 0.269 (m^2/cc)	Dv(90) = 41.66 (um)	D[4][3] = 27.38 (um)

Notes:
tsmc w4a5
Flash Acq : 1 Scans : 909.1 Hz : DC = 0.0% : Dur = 1.1 (ms)
18 Records Averaged (2001/6/21 14:44:26.0176 - 2001/6/21

Measurement Values and Settings

Path Length = 11.99 (mm)	Particulate Density = 10.00 (gm/cc)
Qe (Avg) = 2.08	Laser Wavelength = 670.0 (nm)
Pscat (Avg) = 0.78 (0.00)	Mesh Factor = 1.00

十一、 蒸汽加濕器 與 水霧加濕器 比較表

項 目		蒸汽加濕器		水霧加濕器	
1	**物理特性**	等溫加濕		等焓加濕	
2	**溫度變化**	加濕時乾球溫度略爲上升，單位加濕量愈大，溫度上升愈多		加濕時乾球溫度隨等焓線下降，單位加濕量愈大，溫度下降愈多	
3	**吸收距離**	短，依分佈器的結構而定。可達 60 公分		長，最短可達 1.5 公尺，但需加裝除水板	
4	**吸收效率**	高		低	
5	**耗電量**	**電熱式**	**電極式**	**二流體超音波噴霧**	**電子式超音波震盪噴霧**
		大	大	小	小
6	**其它輔助能源**	無	無	需壓縮空氣需預熱空氣至較高溫度	需預熱空氣至較高溫度
7	**單台加濕能力**	268 KG/HR 可並聯	136 KG/HR 可並聯	並聯噴嘴可無限制增加	1~18 KG/HR
8	**使用水質要求**	純水或軟水	一般水不可使用純水及軟水	5*u* 過濾水或純水	純水
9	**加濕輸出控制性**	線性比例式	On-Off 或多段式 On-Off	比例式或 On-Off	On-Off
10	**預熱空氣溫度**	低於需求溫度 1~2℃	低於需求溫度 1~2℃	高於需求溫度，需求相對溼度愈高溫度亦愈高	高於需求溫度，需求相對溼度愈高溫度亦愈高
11	**購置成本** (60 kg/hr 以下)	高	低	高	非常高
12	**購置成本** (90 kg/hr 以上)	高	低	低 (加溼量愈大,相對成本比較低)	非常高
13	**維修成本**	低	非常高 (需定期清潔及更換內筒及電極棒)	低	低
14	**運轉成本**	高 (高耗電成本)	高 (高耗電成本)	低 (不含壓縮空氣及預熱空氣能源)	低 (不含預熱空氣能源)