

肥料的 製造技術

邵豪華

「肥料」簡單地說，就是可提供植物養分的物質，主成分是氮、磷、鉀；氮肥的效能在葉，磷肥在花果與根，鉀肥則功於莖。不同的作物及其各個生長期所需的養分都不同，肥料製造者得依消費者需求供應不同的產品。

肥料分類及製法

肥料可分為單質肥料及複合肥料兩種：前者如氮肥尿素、含磷養分的過磷酸鈣及含鉀養分的氯化鉀；後者則含有氮、磷、鉀至少兩種的養分。肥料一般都以氮－磷－鉀（ $N-P_2O_5-K_2O$ ）三要素的重量百分率來表示其含量，製造時會依配方組合成不同比例的三要素，再把各成分混合或經反應製成顆粒狀。有時也會依需求添加其他次微量的元素，像是鈣、鎂、鐵、腐植酸等。

複合肥料依原料不同可分為硝磷基及銨磷基複合肥料，其分類基準視磷源來源不同而定。磷源來源若是由磷礦經硝酸酸解再加硫酸及氨反應，形成磷酸鈣、硝酸鹽等，這種製程所得的肥料稱為硝磷基複肥；若是以磷酸及氨當原料，經反應生成磷酸銨，這種肥料就稱為銨磷基複肥。

肥料製程中又因中間物不同可分成全肥漿法及半肥漿法。前者是把所有原料溶融成肥漿再造粒，成分較均勻，顆粒型態也較佳，後者則是把固體原料與液體原料液氨、硫酸等混合後再造粒。



圖片來源：種子發

此外，因肥料造粒方式不同，可歸類成迴轉造粒法、噴漿造粒法及高塔造粒法。迴轉造粒法主要是處理半肥漿法肥料，藉由旋轉機轉動，把小顆粒的肥料凝聚成大顆粒。噴漿造粒法則是處理全肥漿肥料，藉由壓縮空氣與肥漿混合共同噴出，把小顆粒的肥料裹上一層又一層的肥漿成為大顆粒。高塔造粒法則是把肥漿由塔頂以自由落體方式落下，藉由冷空氣吹拂形成大顆粒。

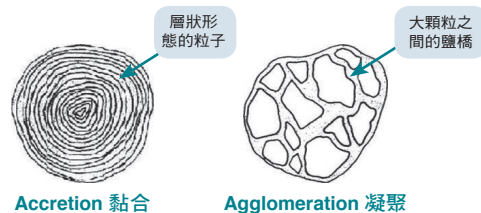
複合肥料造粒機制

複合肥料造粒的機制，主要依全肥漿與半肥漿而區分為黏合造粒及凝聚造粒兩種方式。

黏合造粒是把所有原料溶成液態肥漿，再利用高壓空氣及噴嘴使肥漿以霧狀噴灑入乾燥機內，與來自成品篩機篩分的迴流細粒一層層裹包而成。乾燥用熱空氣或燃燒爐熱氣與迴流細粒在同一方向引入乾燥粒化機，使生成的顆粒同時乾燥。其肥料成品顆粒內部結構近似洋蔥狀，像磷酸一銨、磷酸二銨及部分硝磷基複肥就是採用這種方式造粒。

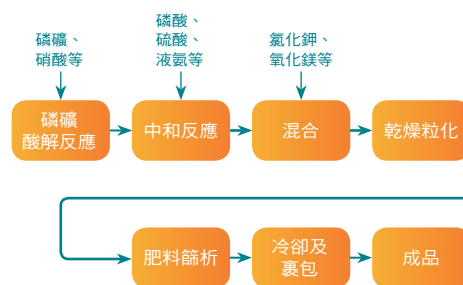
半肥漿凝聚造粒則是把固體原料與液體原料或與肥漿混合凝結而成，其中乾燥的固體原料占比約 50 ~ 75% 之間。而造粒方式主要是藉由粒化機的迴轉使物料翻滾瀉落，並供給機械力使物料粉體相互接觸衝擊而產生凝聚力，當物料本體達到使固體粒子集結所需的液體比時就可粒化。粒化過程所需的液體通常是水、肥漿、液氨、硫酸及磷酸，此外，造粒過程中固體原料因酸氨中和會產生反應熱而部分溶解為液相，也有助於造粒。凝聚造粒的肥料顆粒

複合肥料顆粒主要分為黏合造粒與凝聚造粒兩種結構



(圖片來源：肥料手冊)

硝磷基肥料生產工場流程圖



原料在反應區混合成液態肥漿後，經由造粒、篩析、冷卻等步驟，製成大小相近的肥料顆粒。

的結構形狀較不規則，但大部份複肥多採用這種方式造粒。

以下略述硝磷基複合肥料的生產流程。先以硝酸酸解磷礦使產生肥漿，加入硫酸及磷酸（生產高磷配方時），然後再以液氨中和，最後加入氯化鉀調製成氮磷鉀成分的肥漿。這屬於全肥漿製程，肥漿經造粒、乾燥、篩析、粉碎、冷卻、裹包等程序後製成成品肥料，成品品質穩定，成分均勻性佳，顆粒硬度高且圓滑均勻，適合高氮複肥的大規模生產。

磷礦酸解程序與抑制黃煙的技術

生產硝磷基複肥的第一道程序是磷礦酸解，是利用硝酸使磷礦酸解生成磷酸、硝酸鈣等中間物，目的是使磷礦中的三鈣磷酐轉化成磷酸。

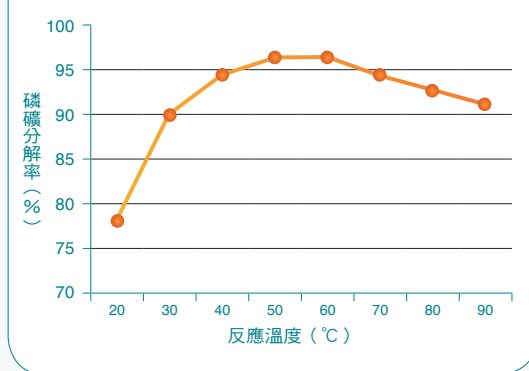
這道酸解程序共有 3 個串聯式 U 型反應槽，其中第一反應槽的反應最關鍵。據分析，影響磷礦酸解程序的因素包括：硝酸濃度、反應槽數、磷礦粒度、反應溫度等。一般來說，若磷礦酸解程序反應太慢，須考慮增加反應槽數，即延長反應時間使達到目標轉化率。但若反應太快太激烈，因磷礦酸解是放熱反應，肥漿溫度上升過高會導致硝酸分解成黃色的二氧化氮氣體，造成氮損失，影響肥料含量，並使後段廢氣處理系統負荷加大及影響排煙品質。

肥料製程中的磷礦粒度影響因素來自礦石的來源。台肥的磷礦來源有二，分別購自約旦與摩洛哥地區。其中來自摩洛哥地區的礦石性質較易使反應溫度升高，容易導致硝酸分解產生二氧化氮氣體損耗並影響排煙，因而必須調降產能，以致影響稼動率。

其次，反應槽數代表反應時間，反應槽數越多，反應時間就越長。工場共有 3 個串聯酸解槽，經取樣比較 3 個酸解槽出口的肥漿磷礦轉化率，幾乎在第一個酸解槽反應率已達 98% 以上，接近完成所有酸解反應。因此 3 個反應槽數應已足夠，且宜設法把第一酸解槽反應轉移分擔至第二、三酸解槽。

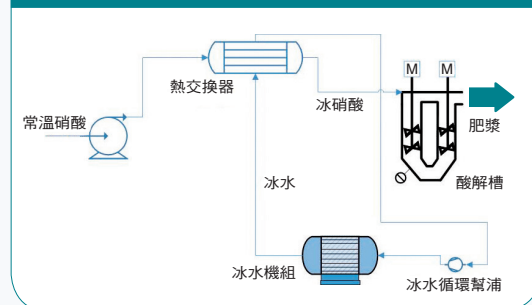
至於在硝酸濃度對磷礦酸解影響方面，一般工業用硝酸濃度規格是 65 ~ 68%，但磷礦轉化率最適合的硝酸濃度是 60%，若直接使用 60% 硝酸，因含水量大不利於工場回收廢水。因此規劃設置混酸器，把 65% 硝酸混摻洗滌液配成 60% 硝酸，再至反應

反應溫度與磷礦分解率關係圖



在攝氏 50 ~ 60 度時，磷礦與 60% 硝酸有最佳的磷礦分解率（約 96.39%）。

冰硝酸系統流程圖



冰水機組產出攝氏 12 度冰水，並使冰水管線與常溫硝酸溶液於板式熱交換器內進行熱量交換形成冰硝酸（攝氏 13 度），冰硝酸再與磷礦進行酸解反應，而降低酸解槽反應溫度，並控制於攝氏 55 度左右。

槽進行酸解反應。惟須注意摻配硝酸時，稀釋熱會使溫度上升而不利於反應。

磷礦酸解反應與溫度的關係：由實驗經驗得知，在固定硝酸濃度為 60% 的條件下，隨著溫度升高，磷礦分解率會增加。由於溫度升高會降低肥漿液相黏度，提高肥漿的流態，同時表面反應速率也加快，這些條件都有利於提高磷礦分解率。但是酸解槽溫度提高至攝氏 60 度以上時，硝酸

與氟化物蒸氣壓也會變得較高，使得部分硝酸產生硝酸霧氣或黃色的二氧化氮氣體。因此，為了使磷礦酸解達到最佳化的結果，且避免反應溫度過高使硝酸分解成黃色二氧化氮氣體，需把酸解槽的溫度控制在攝氏 50 ~ 60 度左右。

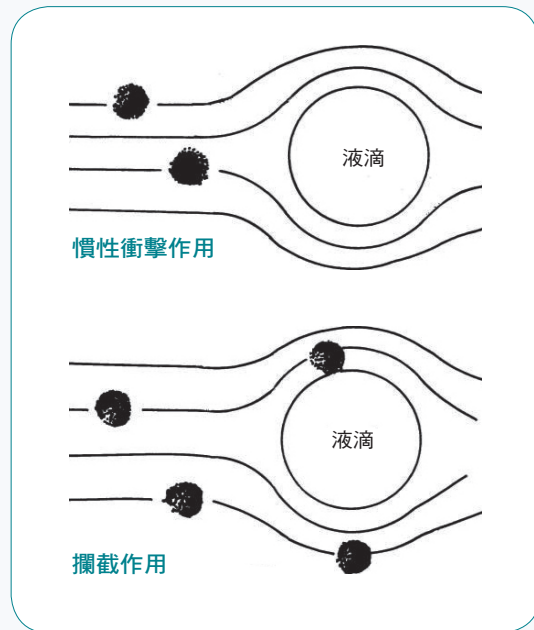
若以常溫（攝氏 32 度）與 65% 高濃度硝酸的工場生產條件進行磷礦酸解反應時，反應槽溫度很容易就達到攝氏 60 度。改善重點在於使酸解槽反應溫度降低及使用 60% 濃度的硝酸，一般的對策是規劃在酸解反應製程中增配一股洗滌液，以與 65% 硝酸混合成 60% 硝酸；或建置冰硝酸系統，藉由冰水機組產出攝氏 12 度的冰水，把常溫的硝酸溶液冷卻成冰硝酸（攝氏 13 度），冰硝酸再與磷礦進行酸解反應，而降低酸解槽反應溫度，並控制於攝氏 55 度左右。

如此一來，維持了整體磷礦的轉化率，且降低了反應溫度，避免黃煙二氧化氮氣體的產生，且能顯著改善生產時對環境的污染。

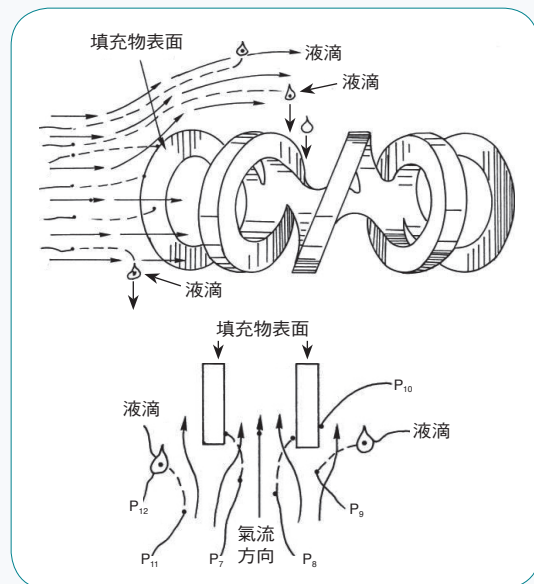
離子化溼式洗滌器的應用

肥料工業在生產過程中往往會產生粉塵、廢氣、廢水等污染，嚴重影響環境。為了能減少乾燥程序中所產生的含粉塵氣體，常用的防制之道第一步是利用傳統集塵器收集，第二步則是以多段式文氏洗滌器捕捉粉塵，第三步再以填充式吸收塔霧化吸收。

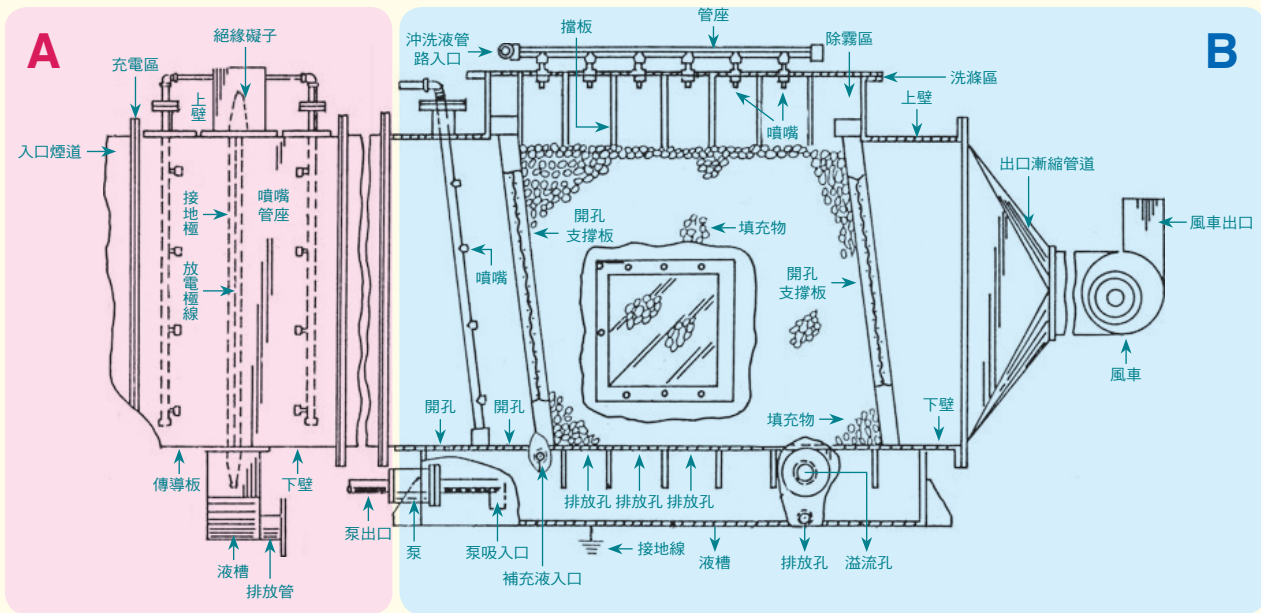
一般而言，乾燥氣污染物較易去除，較難處理的部分涉及化學反應的酸解槽及中和氯化槽產生的廢氣。例如磷礦酸解不佳或氨酸中和 pH 太高、太低時，都會產生二氧化氮、酸霧、氨氣等，並形成硝酸銨、氯化銨等氣溶膠污染物。傳統洗滌塔都無法捕捉及去除這些產物，須選用適合處理溼氣體的離子化溼式洗滌器。



廢氣中的粒狀物藉由慣性衝擊至填充物或液滴表面而附著，因此被攔截下來。（圖片來源：譚明德、陳文杰、張瑞進，離子化溼式洗滌器，工業污染防治，第 46 期，頁 75、90）



凝聚作用——一般都與冷卻器配合使用，主要在提供適當的溫度及溼度，促進微細粒子凝緊成較大的粒子，發生處在填充物表面。（圖片來源：譚明德、陳文杰、張瑞進，離子化溼式洗滌器，工業污染防治第 46 期，頁 75、90）

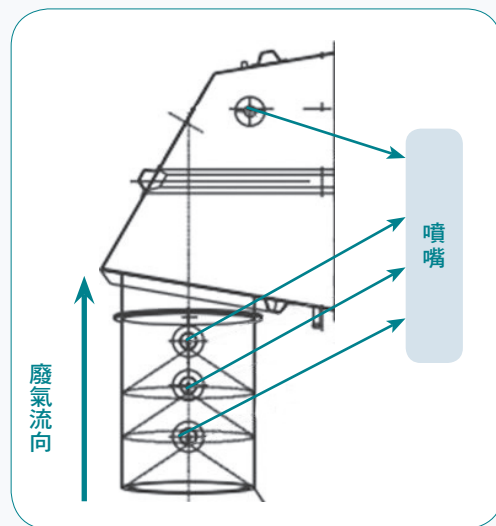


A 是充電區（放電極線），對粒狀物充電，提高帶電量而非收集粒狀物。B 是洗滌區：合肥台中廠廢氣與洗滌水採橫流式，具有液 / 氣阻力小、高煙氣流率、無泛溢點問題、去除臭味等優點。（資料出處：譚明德、陳文杰、張瑞進，離子化溼式洗滌器，工業污染防治，46，75-90）

離子化溼式洗滌器主要用來處理酸氮化時產生的廢氣，可以有效去除粒徑 $3\ \mu\text{m}$ 以下的粒狀物，並利用液-氣間的吸收原理，調整 pH 值至 3 ~ 5 的適當操作區間，以去除煙氣中具腐蝕性、毒性及臭氣的成分。它的優點是操作費用不高，以及可增加廢氣處理量、提高效率等。

離子化溼式洗滌器運轉關鍵

操作離子化溼式洗滌器處理廢氣時，有些要點務必謹守，例如把預洗滌器設定硫酸在 pH 3 ~ 5 條件下捕捉氨及硝酸銨狀污染物，效果最佳且能夠溶解銨鹽類。但須注意這時洗滌液濃度增高，析出的硫酸銨晶鹽易堵塞設備。改善方法是在一系列洗滌器中，把較下游洗滌器的洗滌水送



降溫塔的運作方式是廢氣經管線進入，洗滌液經由泵浦循環至塔頂，藉由噴嘴噴入水滴，蒸發吸收煙氣中熱量使廢氣降溫。

施加化學肥料的目的是為了能高效率種出高品質及產量的農作物，然而過度依賴化肥卻導致地力衰退、環境汙染等後遺症。

把泥炭土摻入化學肥料中製成有機複合肥料，是近來新開發的技術。這種有機複合肥料除了能取代化學肥料的使用外，也能改善土壤環境。

往較上游洗滌器做為補充水，以上類推，最後最髒的水則送往反應器。

另外，選用填充物增加洗滌液及廢氣的接觸面積，以加強廢氣中粒狀物、酸氣等物質的吸收效果，也可有效去除廢氣中的各項污染物。

添加泥炭的硝磷基複合肥料

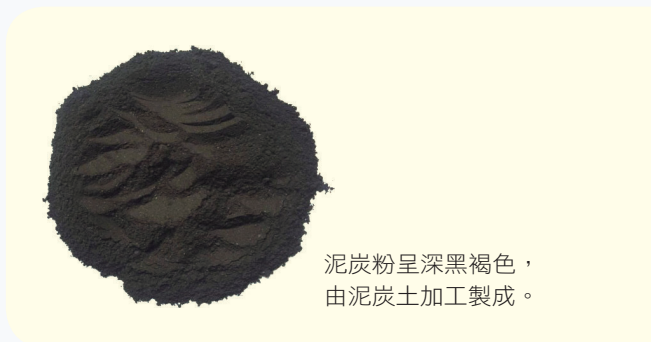
施加化學肥料的目的是為了能高效率種出高品質及產量的農作物，然而過度依賴化肥卻導致地力衰退、環境污染等後遺症。近年來台灣一些有志之士便默默地推動有機農業，希望藉由改變農業習慣達到友善環境的目標。

泥炭土具有諸多成分與特性，例如：含有豐富微量元素（鐵、鋅、錳等）與有機物質（胺基酸、腐植酸）；植物細胞結構可使泥炭土像海綿般吸附營養源，避免營養源隨水快速地流失；泥炭土性質疏鬆，可增加土壤的保水、通氣性等。值得一提的是，泥炭土中含有一重要成分—腐植酸，能有效促進植物生長。

泥炭土在有機農業中已有許多的應用，例如把泥炭土摻入化學肥料中製成有機複合肥料，就是近來新開發的技術。這種有機複合肥料除了能取代化學肥料的使用外，也能改善土壤環境。另外，因為它是長效緩釋肥料，減少了營養源的流失、河川優養化等環境的破壞，也是其引人注意的特點。

有機複合肥料製造

這種新型有機複合肥料的合成看似簡單，多年來卻一直難以實現。因為泥炭比



重 0.6，而肥漿比重 1.5，兩者相差懸殊，所以混合後只見泥炭懸浮在肥漿上。另外，泥炭屬有機物，硝酸鹽會與有機物反應，因此可允許加入的有機物也尚待確認。

研發人員經過多年的研究與改良，近年來終於歸納出泥炭有機物與硝酸鹽的反應機制，發現與硝酸鹽濃度及混合溫度兩個參數有關：高氮配方產品反應性較高，混合溫度較高時較易反應。因此只需訂出不同配方的肥漿溫度及最適的泥炭加料量，就可最佳化。

此外，泥炭比重輕，不易與肥漿混合的問題，只要更改設備的機構，把泥炭以螺旋式輸送導入混合器，同時向泥炭噴水霧，藉由增溼以增加泥炭比重，泥炭就可以完全融入肥漿。這個新技術的突破，不僅讓有機複合肥料能夠開花結果，也讓化學肥料工業對友善環境的貢獻邁進了一大步。

邵豪華

台灣肥料股份有限公司台中廠技術組