

機械製炭爐之設計原則

- ◎國立屏東科技大學木材科學與設計系副教授・林錦盛
- ◎國立屏東科技大學木材科學與設計系教授・藍浩繁
- ◎國立屏東科技大學生物資源研究所博士班研究生・林德財

前言

人類開始用炭的正確歷史年代已遠不可考，從早期燃燒後的殘材中發現炭，繼而發現炭的熱值高、續燃性大與發煙量低等特性之後，炭開始有了大量及不同層面的應用。

製炭方式亦隨著時代的演進和人們累積的經驗、科學知識與所掌握的原材料及製造技術而有所差異。最早的直接燃燒木材，滅火後得到殘炭；而後發展不同的築窯製炭技術；到現代則有工業化的機械爐製炭。

直接燃燒製炭不需特別技術，但是收率低且品質無法控制。築窯製炭需有高度專業經驗的製炭技術人力，收率遠高於燃燒法，但是工作辛苦、製炭時間較久、專業人員的養成耗時較久，且因工作辛苦與收入不足而鮮有後繼人力願意投入。工業化的機械爐製炭則需有較高的資本，但收率高、品質穩定、操作人員之技術門檻較低、產量大及可控制產品種類與性質等特點，對於製炭產業極有助益。

機械爐之設計原則，宜先明瞭炭化原理，再綜合考量安全與衛生、產品與收率、副產品、原料型態與生產模式、熱能供應方式訂定適當的控制。

炭化原理

製炭的基本原理可用最簡單說法，係使用含碳元素的原料以熱裂解的方式而獲得含碳率較高的產物。如炭化原料為竹材，產品

為竹炭；竹材在高溫環境進行熱裂解，除了可得到竹炭之外，尚有竹醋液、竹焦油等其他副產品。反應式及炭化基本原理如下：



由於竹材為可燃物，在高溫之下若有空氣或助燃氣體的存在，即進行燃燒反應，而竹材燃點大約在270~300℃，因此在該溫度以上，若未能有效減少或排出機械爐內的助燃氣體，則機械爐內所進行的將是燃燒反應而不僅止於炭化反應。此外，隨著溫度與處理時間之變化，除了炭材性質不同以外，副產物亦有差別，且副產物初期皆以氣態型式產生。

由上述原理之中，可知設計機械爐時，應針對溫度、處理時間與氣體，進行適當的控制。

安全與衛生

製炭時需有高溫以使原料產生熱裂解，而副產物初期又為氣態型式產生，由於高溫與熱裂解的氣態產物可能對人體有害，甚至於為排出爐體內助燃氣體而使用以高壓鋼瓶裝載的氮氣，凡此均為工業安全與衛生應管控之要項。至於操作環境所需設置之氣體感知器，以氧氣、一氧化碳、二氧化碳濃度感測與警報最為重要，當氧氣濃度不足、一氧化碳濃度過高、二氧化碳濃度太高時應有確實的警報系統，如警示燈或蜂鳴器，甚至可另加設計其連接電子訊號至系統，使系統中

斷製炭流程並啟動緊急換氣設施，避免操作區之氣體環境持續惡化；此外，操作人員所在位置應有局部換氣系統。

高溫對人體的危害，可利用隔熱材料及距離限制，降低危險程度；高溫上限控制設定超過高溫之警報，藉此達到安全製炭之基本原則。又工業上常以隔離原則，強化人員的安全與衛生，如今電子控制已可輕易達成遠端控制之要求，若於設計之初即考量此一基本要求，勢必提高作業現場之安全衛生，也可免除招聘人員不易之困擾。

產品與收率

製炭溫度愈高(石墨化以下之溫度)、時間愈久，熱裂解進行速度愈快、碳化程度愈完全，且炭化材料之收率會因炭化原料、炭化溫度等製備條件而有所差異，而一般竹材厚度較木材厚度為薄，因此竹炭製造時間遠低於木炭所需之製造時間；例如土窯燒製木炭從進窯到出窯約需一個月，燒製竹炭則約需一週至十天。相同的製炭條件下，所需之製炭時間取決於進入機械爐時原料材的厚度，通常熱傳導所需之時間約與原料厚度平方與成正比。在產品與收率之綜合考量之下，應依產品不同之竹炭性質或熱裂解氣態產品類別，設計所需之適當溫度與製炭時間，而非盲目提高機械爐可達溫度及延長炭化時間。通常製炭溫度愈高或炭化時間愈久則炭收率愈低。

然而若以熱裂解的氣態產品為製造之標的物，則應以該裂解所需溫度與時間為考慮因素。竹材在不同溫度進行的熱裂解產物不盡相同，因此為避免收集到不欲獲得的裂解

產物，應考慮設計足量的收集管，不同的加溫區域或加溫時程應開啟不同的收集管路，且各收集管路與加溫時程宜有固定的對應關係，可免除不同批次製程時，收集之裂解產物受到前一製程之污染。工業化製品宜考慮的二個重要項目為純度與濃度，應用機械爐製炭即以工業化為前提，故而目標產物若以收集熱裂解之產品時，務必重視不同管路分別收集之基本原則，可使後段製程單純化及減少後段製程之成本。

又因炭化時含水率較高之材料，除了於炭收率時原始重量提高(計算式之分母)，導致收率降低的表象計算結果之外，另有一層收率下降的實質效應，亦即水分於炭化過程中若無法確實排出，使得過熱水蒸氣對木竹材產生加熱水解作用，使得熱裂解產物增加，導於含水率較高之材料，所得之炭收率較低，由此得知，水分也會影響到製炭收率。

而以木材化學觀點論之，木質材料三大主成分在分解時，半纖維素首先在200~260°C分解，纖維素在240~350°C分解，以及木質素在280~500°C分解；且木質材料經高溫碳化處理時，由於熱降解及熱分解等反應，使結合水脫離、氫鍵及碳鍵等斷鍵最後芳香環化，除去非碳物質而形成炭化材料。

生產模式

生產模式可分為批式與連續式二種(圖1、圖2)，各有特點與其適用條件。通常批式在單次的生產過程中的產品性質較為穩定且易控制，大容量整批製炭時間較久；而連續式的製程則可節省熱能，即使大量製造，因原料可分散而容易獲得熱量，進而相對地可



圖1. 批式電熱製炭機械爐(林錦盛 攝)



圖2. 連續式電熱製炭機械爐(林錦盛 攝)

縮短製炭時間。批式製炭在降溫冷卻等待出爐之製程不但耗費時間且浪費熱能，連續式製炭雖然亦需降溫後方可出爐，但不佔用爐體加熱區段，可持續進料製炭。

此外，二者在裂解之氣態產物的收集亦有不同設計原則，批式爐之氣態產物收集管

必須對應於溫度，而連續式爐氣態產物收集管則為對應爐體區段，而且各收集管路宜設計雙管型式。

熱能

熱能的取得方式可分為電熱、燃油、燃氣、燃煤及燃燒木竹材等木質纖維或植物體，不拘任何型式，只要能供應爐體所需溫度均可。電熱控制方便且穩定，但價格昂貴，電熱除了傳統焦耳效應之電熱以外，近十年來則有應用高週波感應加熱(誘導加熱)使爐體快速升溫，不過似乎仍停留在研究階段，尚未有技術轉移為實用工業爐之報告。此外，大電流加熱亦可達到快速加熱的功能，且因電壓較低，不致發生感電之危害，應有發展之可能性。

燃油、燃氣或燃煤亦可作到穩定控制且熱值高之優點，但是仍有提高成本之慮，否則不失為理想之熱能供應源。

燃燒木竹材等為熱源，最大的缺點為熱值較低，溫度控制較不穩定，就成本而言卻最低，成為最大優勢。

機械爐之設計可考慮多熱源之供應模式，有主有輔，以低成本熱源為主，以較易控制溫度者為輔助熱源。

結語

沒有最好的設計，製炭技術不斷精進，炭的應用層面不斷增加，安全與衛生規定不斷變化，今日最好的設計，可能只是明日最基本的配備，必須結合群體的能力，彼此交流作出最大的貢獻，方可日新又新。☸

◎ 參考文獻請逕洽作者