

科學去污減廢系列 之固體廢物篇

編者的話：

現代社會物質生活豐盛，但同時亦產生大量廢物污染，破壞環境。香港各領域科學家現都致力發揮知識與創意，投入研發不同新技術，期望能減少污染對環境與人的影響，甚至將廢物有效地再造再用。本報將一連三集分別從固體廢物、污水處理及空氣污染入手，展示本地學者一系列「去污減廢」的科研成果，推動世界朝可持續發展方向邁進。

都市固體廢物數量及種類繁多，其中處理污水過程中產生的大量污泥，因難以完全焚化，並可能變成新的有毒污染物，令人倍感棘手。香港大學土木工程系副教授施凱閔施展「煉金術」，讓廢棄的污泥「變成」高樓大廈；其原理是先透過「X射線衍射(X-ray diffraction)」分析污泥成分與相關原子組成等，並將之混入黏土進行加熱、合成等，「像煮菜一樣」進行配搭，以改變其原子結構方式，從而產生出不同硬度和密度材料特性供使用。例如生產建築材料，其合成物料堪稱「百變」，可分別用作建築物支柱、隔熱及隔音層板和防火物料等。

香港文匯報記者 馮晉研



施凱閔利用科學方法，將處理污水後所產生的污泥混入黏土，可以製作建材。香港文匯報記者 曾慶威攝

施煉金術 點淤成廈

改污泥原子結構 產百變建築材料

對施凱閔來說，廢水污泥如同「寶藏」，他近年致力研究以科學方法，將污水重新製成新材料，以廣泛應用於陶瓷、建築等不同層面的工業。他解釋說，污泥和其他垃圾經生物分解或焚燒後，雖然體積變小超過90%，但會產生灰塵問題，其中金屬物質也無法去除，反而可能改變特性變成有毒污染物，若埋藏於堆填區時處理不當，遇雨時溢出來，需進行二次處理。即使當中某些重金屬毒性及對人體健康風險較低，但放着不管，亦會造成資源浪費。

成分同建構異 物理變化有別

不過，棄廢變寶的過程是一大學問，施凱閔指出，即使是相同的基本化學成分，但只要建構方式不同，材料物理變化便完全不同。日常所見黑色的石墨碳(Graphite)及鑽石(Diamond)便是最經典例子，兩

者同樣由碳(Carbon)原子組成，但因結構差異，其形態、密度、硬度、質感以至導電性等都截然不同。故此，鑑定及材料合成步驟很重要，他的研究工作，是將有關污泥混入黏土，並藉加熱及合成等方式改變有關原子結構，製出可用新材料。

例如鋁化合物類的水廠污泥，若與含有鋅的泥土一同於超過攝氏1,150度焚燒，便能產生鋅鋁二氧四尖晶石(ZnAl₂O₄)，此舉同時能讓泥土中的鋅處於穩定狀態，減低污染風險。

析圖譜測可能性 原料搭配「像煮菜」

在都市中高科技與人工合成產品越來越多，而有關廢物屬多樣化物質的「綜合體」，施凱閔指出，合成新材料前需要找出當中成分比例，並以數學方法分析數據，了解材料與材料之間搭配的特性和關係。其團

隊便是透過「X射線衍射」，藉材料標準圖譜，分析當中的成分、原子或分子結構等資料，待了解混合的物質成分、比例、材料搭配的可能性後，便按需要生產合用產品。「用甚麼原料，混甚麼東西。就像煮菜般，配甚麼原材、溫度和時間」。

至於建材應用方面，施凱閔說明，有別於傳統整幢建築全由水泥所製成，由廢棄物合成的新材料，可針對性配合使用目的來生產。

他舉例說，廢棄物可製作具承重的建材，能夠支撐整幢建築物的主結構；至於大廈房與房間的牆身，則可合成較輕而強度足夠的材料作為牆中隔板，在不影響結構情況下，減低建築物負荷，並具隔音和隔熱等效果。他又補充說，下一步仍需更細緻的安全性研究，確保由廢物製作的材料完全無毒無害，才能正式投入使用。

集思廣益

跨學科「腦震盪」

重新建構原子來製作新材料的概念是「跨學科」研究的產物。港大土木工程系副教授施凱閔認為，那既是突破，又是困難之處。他指出，跨學科的新概念不能靠自我鑽研，需要更多地與別人交流學習所得，「就算我在那邊(蘋果樹下)坐一百輩子，我可能也想不到相關定律」。

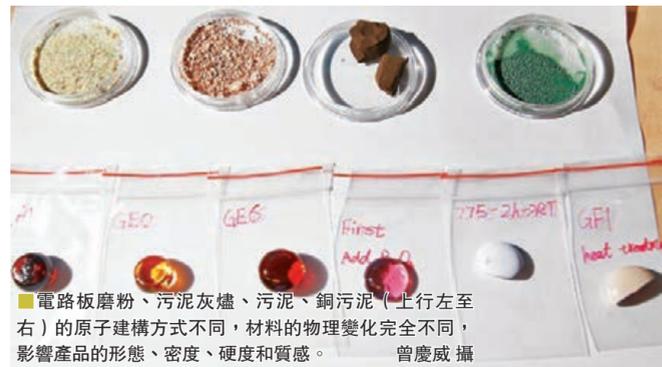
談到有關新材料研究的源起，施凱閔指其團隊在看待環境問題時，想起五花八門的材料，如何對環境有幫助，最終結合十多名具環境與材料學科背景的博士生和博士後的討論，獲得「棄廢變寶」的成果。他特別強調當中交流的重要性，「當沒有互相學習的機會，等於把門關上」，而跨學科合作正是「把一道道門打開，讓大家接觸原來不接觸的事情，讓我們能夠有創新的意念，學科互通」。

誕新概念

「雙訓」師生較少 研究最大困難

但他又坦言，訓練傳統材料工程師或環境工程師，現存各有一套完整體系，並無創新誘因，現時年輕人也沒甚機會接受「兩邊訓練」。如要求參與的博士生，在研究過程中同時掌握兩類知識，其負擔等同讀「雙學位」卻未有同等回報，加上有機會參與交叉學科訓練的教師比例亦少，是研究時面對的最大困難。

香港文匯報記者 馮晉研



圖為廢水污泥。受訪者供圖



廢棄物如廢電池等工業用銅產生的污泥均能回收重製。



圖為廢水污泥。受訪者供圖



施凱閔表示，透過X射線衍射可從材料標準圖譜分析當中的成分、原子或分子的建構等資料。

「都市採礦」潛力大 能源產業料適用

棄廢變寶

「棄廢變寶」技術潛在應用層面廣泛，廢棄物如電路板、廢電池、鉛玻璃、工業用銅產生的污泥，均可回收重製使用。港大土木工程系副教授施凱閔希望，藉更深入了解將廢棄物轉化的科學技術細節，可將研究成果融入一些已有的工業，例如能源產業中。

對社會面對的固體廢物問題，施凱閔認為，從源頭入手固然可減少使用不必要的物品，但垃圾產生始終都無可避免，故於學術

層面，讓材料重複使用亦是一個重要研究方向。特別是垃圾產量高的大城市，有大量研究及轉化重用所需的廢棄物，更可進行「Urban mining(都市採礦)」，發展潛力很大。他期望藉科學技術的突破，把廢棄物問題消除，甚至額外帶來一些好處，如增加現有材料產品多樣性和性能等。

重製電池鉛 免損害環境

能源產業便是一個可發展方向。施凱閔指出，鉛電池藉鉛的相關還原及氧化作用，達

到蓄電和放電目的。使用完畢後，亦應回收電池中的鉛，製作可重新用於電池的純氧化鉛或不同形態的鉛，以滿足產業需要，同時避免廢棄鉛電池危害環境。

至於舊式電視機屏幕，亦有利用鉛玻璃防止輻射外洩，但無阻光源透出，施凱閔指出，以往有關屏幕都會回收循環再用，但隨市民使用產品的習慣改變，舊式屏幕已變成棄置物。他認為，社會亦應積極將有關材料回收，並抽取當中的鉛重用。

香港文匯報記者 馮晉研

西瓜皮吸重金屬勝活性炭

天然除害

棄置於堆填區的自然固體垃圾，遇雨可能會將含毒性的有機化合物沖到河流，污染地下水源和泥土，對生態造成破壞。理工大學應用生物及化學科技學系副教授勞偉雄在10年前開始研究將不同的天然垃圾，製作工業用吸附劑(Adsorbent)，用以回收廢水和廢料的的重金屬；在逾200種廢料中，他發現西瓜皮吸附能力更勝於活性炭。

負負得正 善用廚餘減廢

天然垃圾變為吸附劑，能抽出工業廢料所含的重金屬，不單「棄廢相抵」令污染大減，更可「負負得

正」，被提取的重金屬能循環再用，且效能不錯。他舉例說，曾試過將以細菌吸附污水中的銅回收，並重新製造電鍍，結果與用純銅製造電鍍幾乎沒有分別。至於已使用吸附劑一樣可重用。

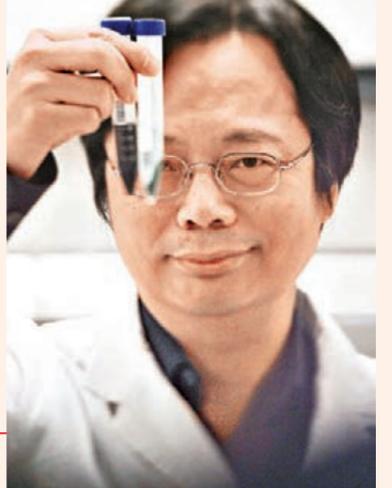
勞偉雄又說，食物廢料連年增加，如港人愛吃的生果，其廢料足以生產大量吸附劑，但需要先將廢料進行源頭分類，按其特徵回收，增加應用可行性。

現存方法易洩毒運作煩

現存處理含重金屬廢料的不同方法中，化學沉澱成本雖較低，惟處理不慎或致有毒廢料流出，而濾膜的運作較麻煩，利用等離子技術則成本高昂。若使用天然垃圾作吸附劑，只需要等離子處理重金屬廢料價錢的十分一，待進一步研究及完成中期測試後，相信日後有機會大規模應用。

香港文匯報記者 馮晉研

勞偉雄測試逾200種廢料，發現西瓜皮吸附部分物質的能力較活性炭有效。



垃圾種類多 「尋寶」路漫漫

鐵柱成針

一般固體垃圾種類繁多，勞偉雄認為最大困難在於不知道材料究竟有沒有吸附能力，「只能按其化學特性去猜可能吸附到甚麼物料，然後進行測試證明」。

有關過程複雜非常，勞偉雄解釋說，在初步鎖定個別垃圾能吸附的重金屬類型後，再要於不同的酸鹼值、溫度和廢水濃度等條件下進行測試，進一步觀察其吸附能力；例如重金屬六價鉻(Chromium-6)帶負離子，在酸性環境的吸附效能較理想。

其後，則要透過科學光譜方法(Spectroscopic method)研究固體垃圾表面所擁有功能基(Functional group)如何與重金屬發生吸附作用。最後製造濾器，並以數學模型，估算在不同條件下，模擬整個處理過程如何達到最理想效果。他指出，單是現正研究的六價鉻，也要需時幾年才能完成中期測試。

香港文匯報記者 馮晉研