
資料摘要

歐洲聯盟的熱能廢物處理

1. 引言

1.1 在歐洲，歐洲聯盟(下稱"歐盟")限制興建新的堆填區，加上歐盟的《堆填指引》(Landfill Directive)¹ 訂立了嚴格的排放標準，促使歐盟各國制定改善廢物管理的環保法例和發展熱能廢物處理計劃。事實上，歐洲國家普遍採用熱能廢物處理技術作為廢物管理策略之一，目的是把不斷增加的廢物量分流，以騰出堆填區的空間。熱能處理技術除可減少廢物體積外，亦可將廢物轉化為能源，以及從廢物回收礦物及／或化學物。本資料摘要旨在提供熱能廢物處理技術和歐盟相關法律框架的概覽。

2. 熱能廢物處理技術

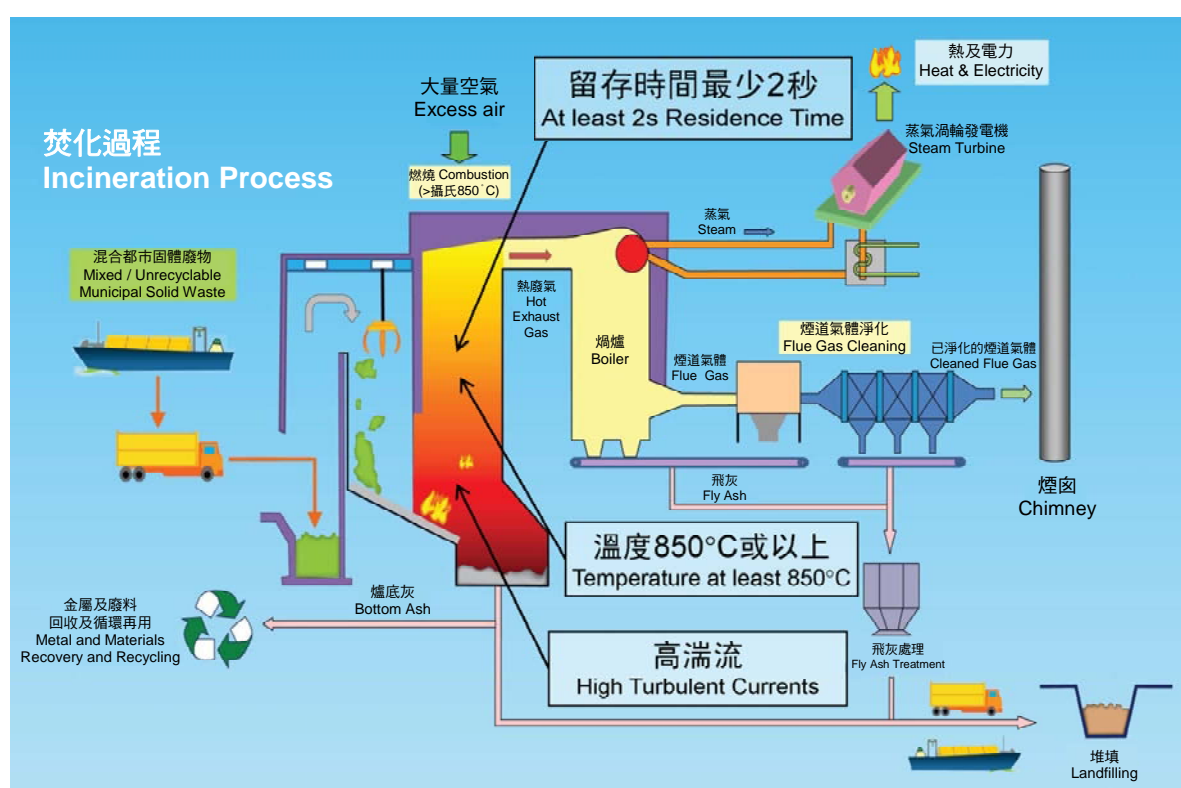
2.1 熱能廢物處理是指以高溫處理廢物原料的廢物處理技術，當中包括焚化及其他處理方法，例如先進熱能處理技術(Advanced Thermal Treatments)，此項技術主要分為熱解、氣化及等離子氣化技術。各種熱能廢物處理技術主要特點的比較表載於附錄。

¹ 舉例而言，根據1999年4月26日發出並經修訂的《歐盟部長理事會指引》(Council Directive)(編號1999/31/EC)，所有歐盟成員國必須在2006年、2009年及2016年之前，把運往堆填區的可生物降解都市廢物總量分別減至1995年廢物量的75%、50%及35%，目標是逐步將可生物降解都市廢物分流，以騰出堆填區的空間。

焚化

2.2 焚化是一項熱能廢物處理技術，用以減少需要最終棄置的廢物體積。焚化技術一般能將廢物的體積縮減約90%以上，是都市固體廢物運往堆填區棄置之前，其中一種被廣泛採用的處理技術。大部分新式焚化設施都配備熱能回收及發電裝置，從廢物中回收熱能。

圖1 —— 先進焚化技術流程圖



資料來源：Environmental Protection Department (2011)。

2.3 焚化通常是指燃燒未經處理的廢物殘渣。燃燒需有足夠氧氣，才能使燃料(即廢物)完全氧化。一般而言，焚化爐會在空氣供應充足的情況下以超過攝氏 850 度的高溫把廢物燃燒兩秒以上，以確保廢物徹底燃燒，並防止二噁英和一氧化碳產生。不可燃物料(例如金屬及玻璃)會維持固體狀態，稱為爐底灰，這些物料可加工為填料，供高速公路、道路及橋樑等建築工程使用。

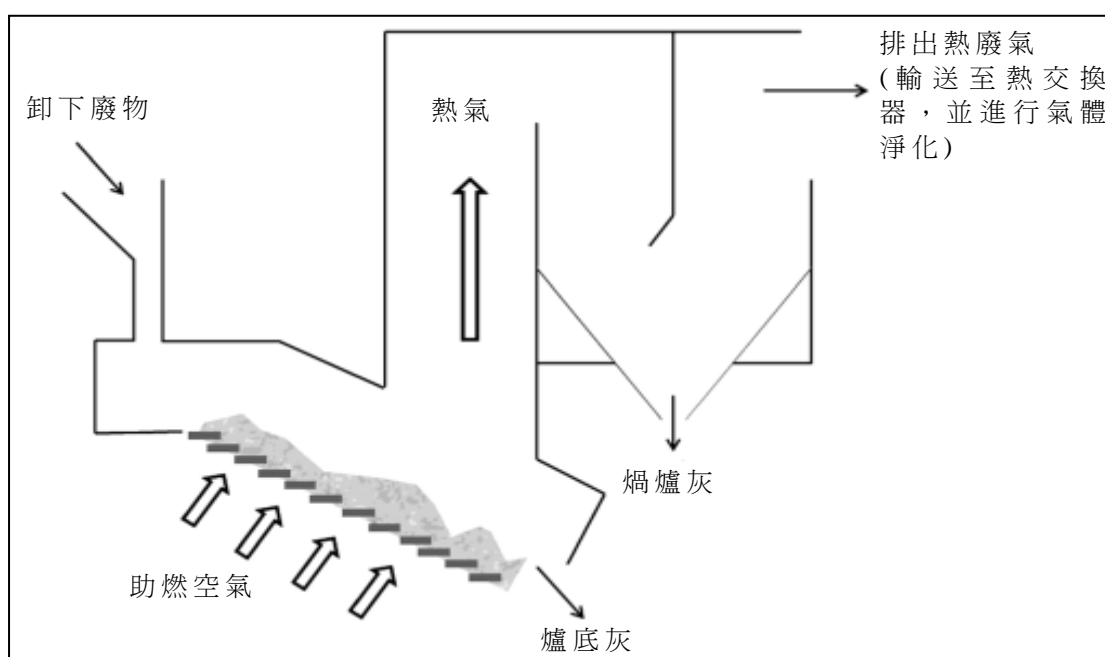
2.4 當燃燒廢物時，焗爐中的熱力可產生高壓蒸氣，高壓蒸氣經過蒸氣渦輪發電機可發電，也可供應暖氣。焗爐中的廢氣或煙道氣體首先須經過淨化，以消除污染物，然後排出。

活動爐排焚化技術

2.5 焚化設施普遍採用活動爐排焚化技術處理廢物。活動爐排可盡量把廢物推進燃燒室內，使廢物更迅速地完全燃燒。

2.6 廢物由起重機搬運至爐排一端，經"瓶頸口"卸下，沿爐排的傾坡滑向另一端的灰池。爐排由活動爐排片組成，作用是把廢物推至燃燒室。經爐排底部注入空氣，而在爐排上方的火焰區再加注空氣。

圖2 —— 活動爐排焚化爐示意圖



資料來源：Harrison, R.M. (2014)。

2.7 如使用焚化爐產生的熱力，須把經燃燒的氣體輸送至熱交換器，從交換器釋出的熱流可產生蒸氣，推動渦輪發電機；此外，熱流亦可把熱能輸送到其他地方。

先進熱能處理技術

2.8 先進熱能處理技術主要包括熱解、氣化及等離子氣化技術。先進熱能處理技術是透過把廢物加熱以提取能源，但與焚化技術相異之處是，在採用此項技術前，廢物須先經處理，以除去體積過大的廢物、不可燃物料(例如金屬及玻璃)和多餘的水分。隨後，廢物須經切碎，以確保廢物在處理過程中可均勻地降解。此外，由於先進熱能處理技術需要的處理空氣較少，其污染控制措施的規模也較焚化技術所需者為小。

2.9 先進熱能處理技術從加熱過程中產生一些混合產物，這些產物仍儲存大量化學能源(例如氣體及油)，可燃燒以產生蒸氣。然而，這些產物亦可在淨化後輸送到燃氣發動機或燃氣渦輪發電機直接燃燒，或轉化為運輸燃料或合成天然氣。與利用蒸氣發電相比，後者可更迅速地把廢物轉化為能源，因此較具吸引力。儘管如此，後者存在技術上的困難，所產生的部分能源亦須供本身的處理程序使用，這使整體效益下降。

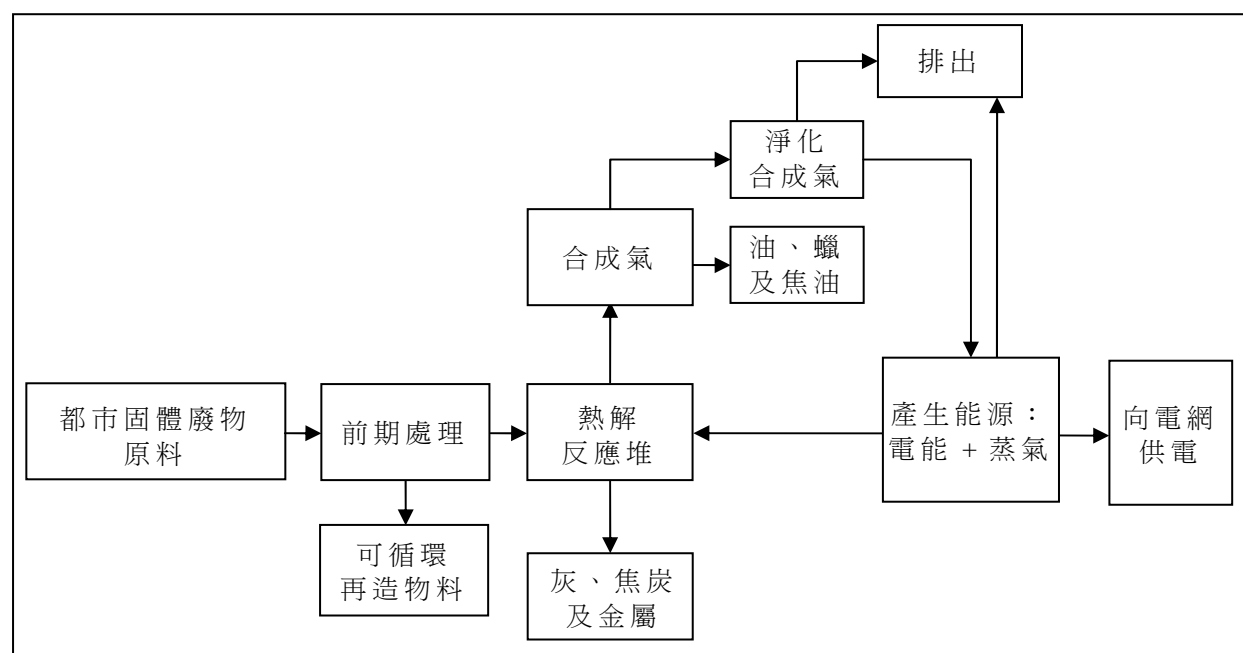
熱解技術

2.10 與焚化技術不同，熱解技術是在沒有氧氣的情況下進行熱能降解。這個程序需要外部熱源以維持所需的溫度。一般而言，在熱解過程中，需使用攝氏 300 至 850 度的較低溫度。未經處理的廢物殘渣通常不適合以熱解技術處理，使用此項熱能處理技術前，須先把廢物處理，並將玻璃、金屬及惰性物料分開。

2.11 在熱解過程中會產生不可燃物料的固體殘餘物和碳(亦稱為"焦炭"),以及氫和一氧化碳的混合氣體,這種氣體稱為合成氣。焦炭可送往堆填區棄置,或採用氣化或焚化方式進一步把焦炭變為爐底灰,以減少碳含量;爐底灰可經循環再造成為再造石料。至於合成氣,則可經凝固程序製成油、蠟或焦油,或經燃燒產生蒸氣以發電及/或發熱,供設施本身及外界使用。

2.12 由於熱解過程對空氣高度敏感,一旦空氣意外流入,可破壞整個程序及增加爆炸的風險。另外,熱解過程需要種類相若的廢物原料,原料粒子的大小、水分含量及成分必須長期大致相同。此外,熱解所產生的能源較少;根據紀錄,全球絕少商營的熱解處理設施接收都市固體廢物。²

圖3 —— 熱解處理設施運作流程圖



資料來源：Young, G.C. (2010)。

² 參閱 Department for Environment, Food and Rural Affairs (2013c)。

氣化技術

2.13 氣化程序介乎熱解與焚化之間，經氣化的物質會部分氧化，表示所注入的氧氣不足以讓燃料完全氧化和燃燒。氣化程序一般所需的溫度為攝氏 650 度以上。啟動和維持氣化程序可能需要熱源。氣化與熱解程序一樣，需事先把未經處理的廢物殘渣處理。氣化程序主要產生合成氣，可在燃燒後發電，而爐底灰則可經循環再造成為再造石料。

2.14 在歐洲，氣化技術的發展只屬起步階段，由於廢物須預先處理，加上涉及的技術複雜，因此氣化設施所需的營運及建設成本較焚化設施所需的成本為高。³

等離子氣化技術

2.15 等離子氣化是以氣化為基礎的熱能處理過程，當中採用等離子炬為熱源，有別於傳統的熔爐技術。在處理過程中會採用電力和高溫把廢物分解為合成氣；在攝氏 2 000 度或以上的極度高溫下，廢物中的無機成分會轉化為液化殘渣，而從中所提取的固態材料，可鋪設路床和作其他建築用途。在處理過程的第二階段，一般會把合成氣燃燒，以產生熱能和電力，供當地市場使用。

2.16 如用等離子氣化技術處理都市固體廢物，必須預先處理混合廢物，使廢物原料較為均質。由於等離子氣化技術須在氧氣不足環境下進行，故此所產生的污染物(例如氮氧化物)較少，從反應堆排放的氣體也較為清潔，並且不會產生爐底灰。

³ 參閱 Stantec Consulting Ltd (2013)。

2.17 目前，等離子氣化技術甚少在商業上應用於處理都市固體廢物，主要原因可能是這類設施所需的資本及營運成本較高。⁴ 此外，等離子室容易耗損，必須配置後備等離子室使流程不會中斷。再者，由於在等離子氣化過程中需要輸入大量能源，因此整體的能源回收率不高。

有關使用熱能廢物處理技術的爭議

2.18 熱能廢物處理是其中一種被廣泛採用的技術，用以處理棄置堆填區前的都市固體廢物。雖然此項技術或未能取代廢物堆填，但可使廢物的體積大幅減少90%以上，從而減低堆填區排放的溫室氣體。⁵

2.19 熱能廢物處理亦有其他好處。舉例而言，在熱能處理過程中可回收熱力及／或能源，因此可替代燃燒化石燃料以產生能量的方法。在熱能廢物處理程序中，亦可從固體廢物回收礦物及化學物供重用或循環再造。此外，熱能廢物處理設施產生的爐底灰提供廉價的石料，可供建築工程使用。

2.20 部分環保團體指出，即使技術最先進的熱能廢物處理設施，也會在環境中釋放大量污染物。⁶ 新式的污染控制方法不可防止二噁英及呋喃等有害的超細顆粒排放於大氣中。

⁴ 參閱 Stantec Consulting Limited (2013)。

⁵ 美國環境保護局 (Environmental Protection Agency) 表示，以量度產生每度電所釋放的氣體計算，堆填區排放的溫室氣體較熱能廢物處理設施排放的溫室氣體高2至6倍。假如不把廢物焚化，而是將之埋於堆填區，當廢物分解時會釋出甲烷，這種溫室氣體的威力較焚化設施排放的二氧化碳強大25倍，對大氣層造成的破壞更為嚴重。

⁶ 關於這方面的例子，參閱 Global Alliance for Incinerator Alternatives (2012)。

2.21 熱能廢物處理設施為取得廢物供應而與城市簽訂長期合約，造成熱能廢物處理的另一問題。這些設施的建造費用高昂，設施營運商需確保廢物源源不絕地供應，才可圖利和向投資者提供回報。營運商通常與城市簽訂合約，確保後者長期供應指定的廢物量，而合約期往往長達 20 或 30 年。這項安排實際上是要這些城市努力產生某數量的廢物，結果可能令城市的廢物回收率低於可達致的比率。因此，採用熱能廢物處理或會失去進一步推動回收的誘引。

3. 歐洲聯盟的法律框架

3.1 採用熱能處理廢物受《工業排放指引》(Industrial Emission Directive)所規管；《工業排放指引》由歐盟發出，旨在將《廢物焚化指引》(Waste Incineration Directive)及先前發出與工業排放有關的另外 6 項指引納入單一指引內。《工業排放指引》於 2011 年 1 月 6 日生效，歐盟各成員國須在 2013 年 1 月 7 日前將該指引納入當地法例。指引的目的是減少在空氣、泥土、水及陸地排放污染物，並防止產生廢物，從而提高整體的環境保護水平。

3.2 《工業排放指引》分為 7 章，內有合共 84 項條款及 10 個附件。為了盡量減少工業產生的污染物，該指引界定可能屬主要污染源頭的工業活動(包括廢物焚化)須承擔的責任⁷。凡進行《工業排放指引》所涵蓋的活動的工業設施，必須符合以下環保規定：(a)採取污染的預防措施；(b)採用最佳的現有技術；(c)沒有引致嚴重污染；(d)以造成最少污染的方法，減少、回收或棄置廢物；(e)盡量提高能源效益；(f)防止意外發生，並減少意外的影響；及(g)當活動結束時，將用地修復。

⁷ 《工業排放指引》涵蓋的工業活動包括廢物管理、能源工業、金屬製造及加工、礦產業、化工及飼養動物。參閱《工業排放指引》附件 I。

3.3 《工業排放指引》亦訂明，所有歐盟成員國必須設立監察有關設施的環保巡查制度。所有設施須納入環保巡查方案內接受監察，方案內容亦須定期檢討及更新。主管當局須根據巡查方案，定期制訂例行環保巡查計劃，當中須訂明實地視察不同種類設施的次數。

3.4 此外，《工業排放指引》規定成員國設立全歐洲適用的登記冊——“歐洲污染物排放及轉移登記冊”(European Pollutant Release and Transfer Register)——為公眾提供歐盟廢物焚化設施及其他工業設施排放污染物的詳細資料，有助提高廢物焚化活動的透明度，推動公眾參與環保決策。

3.5 《工業排放指引》亦訂立監管廢物焚化的具體規定(尤其第IV章及附件VI)，監管事項包括受規管設施的範圍、申請准許證及發證條件、營運條件、排放物控制及監察、廢物運送及接收、殘餘物，以及提交報告和向公眾發布資訊。

受規管設施的範圍

3.6 《工業排放指引》適用於焚化及混合焚化固體或液體廢物的焚化設施及混合焚化設施。至於熱解或氣化設施，只要它們以熱能處理廢物所產生的氣體經過淨化，使氣體在焚燒前不再是廢氣，而這些氣體的污染物排放量不高於燃燒天然氣的排放量，則可獲得豁免。

申請准許證及發證條件

3.7 焚化設施處理廢物的能力如每小時超過 3 公噸(非有害廢物)或每日 10 公噸(有害廢物)，必須獲發准許證才可營運。焚化設施必須符合《工業排放指引》所訂明的規定，主管當局才會簽發准許證。准許證指明可處理的廢物類別及數量、設施的焚化量，以及蒐集樣本和量度空氣及水中污染物的程序。

營運條件

3.8 為確保廢物完全燃燒，《工業排放指引》規定所有焚化爐必須把焚化氣體的溫度保持在攝氏 850 度或以上，並維持最少兩秒。如焚化的有害廢物中所含的鹵代有機物質超過1%，須將溫度提升至攝氏1 100度，並維持最少兩秒。此外，焚化過程中所產生的熱力須在切實可行範圍內盡量回收。

排放物控制及監察

3.9 《工業排放指引》附件VI訂明焚化設施釋放於空氣中的排放物的排放限值⁸，以及淨化廢氣產生的廢水的排放量。指引亦規定必須裝置量度系統，以監察相關排放物的參數，並須持續或定期按照該指引的規定執行量度工作。

廢物運送及接收

3.10 在廢物運送及接收期間，焚化設施的營運商須採取所有必需的預防措施，防止或減少對環境造成的不良影響及對人構成的危險。此外，在焚化設施接收有害廢物前，營運商必須備有廢物的產生過程、物理及化學成分和有害的性質等行政資料。

殘餘物

3.11 焚化殘餘物必須減至最少，並盡可能循環再用。當運送乾的殘餘物時，必須採取預防措施，防止殘餘物散播。營運商亦須測試，以確定殘餘物的物理及化學特性和造成污染的可能性。

⁸ 包括重金屬、二噁啉、呋喃、一氧化碳、灰塵、總有機碳、氯化氫、氟化氫、二氧化硫及氮氧化物的排放限值。

提交報告和向公眾發布資訊

3.12 新准許證的申請資料必須公開，讓公眾可在主管當局作出決定前發表意見。設施的額定功率如每小時為兩公噸或以上，營運商必須向主管當局提交報告，說明設施的運作及監察措施，讓公眾查閱。主管當局必須編訂每小時額定功率少於兩公噸的廢物處理設施一覽表，讓公眾查閱。

黃鳳儀及譚瑞萍

2014年2月26日

電話: 2871 2125

資料摘要為立法會議員及其轄下委員會而編製，它們並非法律或其他專業意見，亦不應以該等資料摘要作為上述意見。資料摘要的版權由立法會行政管理委員會(下稱"行政管理委員會")所擁有。行政管理委員會准許任何人士複製資料摘要作非商業用途，惟有關複製必須準確及不會對立法會構成負面影響，並須註明出處為立法會秘書處資料研究組，而且須將一份複製文本送交立法會圖書館備存。

附錄

表 — 各種熱能廢物處理技術主要特點比較表

	焚化	氣化	熱解	等離子氣化
過程	<ul style="list-style-type: none"> 熱能處理過程通常在攝氏850度以上進行，需要有足夠氧氣供應。 	<ul style="list-style-type: none"> 熱能處理過程通常在攝氏650度以上及氧氣不足以令燃料完全氧化的環境進行。 	<ul style="list-style-type: none"> 熱能處理過程通常在沒有氧氣的環境下及攝氏300至850度之間進行。 	<ul style="list-style-type: none"> 熱能處理過程通常在攝氏2 000度以上及氧氣不足以令燃料完全氧化的環境進行。
採用有關技術處理都市固體廢物的歷史	<ul style="list-style-type: none"> 超過100年。 	<ul style="list-style-type: none"> 近年採用，相關紀錄不多。 		
所需廢物原料	<ul style="list-style-type: none"> 預先處理廢物的工序不多。 	<ul style="list-style-type: none"> 廢物須預先處理。 		
在熱能處理過程中產生的物質	<ul style="list-style-type: none"> 煙道氣及爐底灰。 	<ul style="list-style-type: none"> 合成氣(焦油量較少⁽¹⁾)及爐底灰。 	<ul style="list-style-type: none"> 合成氣(焦油量較高)、焦炭及熱解油。 	<ul style="list-style-type: none"> 合成氣(不含焦油)及惰性殘渣。

註：(1) 焦油沉積可堵塞設施，在多項試驗及商用設施中，焦油沉積與設施故障及效率降低有關。

附錄(續)

表 — 各種熱能廢物處理技術主要特點比較表(續)

	焚化	氣化	熱解	等離子氣化
產生能源	<ul style="list-style-type: none"> 可從熱能處理過程中直接產生熱能及／或電力。 	<ul style="list-style-type: none"> 從熱能處理過程中產生的合成氣經過燃燒後可產生熱能及／或電力。 		
效率 ⁽²⁾	<ul style="list-style-type: none"> 發電效率介乎18%至30%之間。 	<ul style="list-style-type: none"> 如採用類似焚化設施所用的能源回收系統，發電效率介乎10%至20%之間。如合成氣經淨化後在燃氣發動機／渦輪發電機內直接燃燒，或轉化為運輸燃料或合成天然氣，熱能處理過程的效率可能會進一步提高。然而，有關過程所需的技術較高。 		
發電量	<ul style="list-style-type: none"> 每公噸都市固體廢物可產生約0.5兆瓦時至0.6兆瓦時的電力(如屬較舊式的設施)。 每公噸都市固體廢物可產生約0.75兆瓦時至0.85兆瓦時的電力(如屬較新式的設施)。 	<ul style="list-style-type: none"> 每公噸都市固體廢物可產生約0.4兆瓦時至0.8兆瓦時的電力。 	<ul style="list-style-type: none"> 每公噸都市固體廢物可產生約0.5兆瓦時至0.8兆瓦時的電力。 	<ul style="list-style-type: none"> 每公噸都市固體廢物可產生約0.3兆瓦時至0.6兆瓦時的電力(等離子設施運作所需的能源通常較其他種類設施所需的能源為多)。
設施的廢物處理能力(按都市固體廢物量計算)	<ul style="list-style-type: none"> 介乎每年處理少於4千公噸廢物至超過80萬公噸。其中一座最大規模的廠房每年可處理85萬公噸廢物。⁽³⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> 廢物處理能力通常較焚化設施小。其中一座最大規模的設施每年可處理25萬公噸廢物。 	<ul style="list-style-type: none"> 廢物處理能力通常較焚化設施小。其中一座最大規模的設施每年可處理15萬公噸廢物。 	<ul style="list-style-type: none"> 廢物處理能力通常較焚化設施小。最大規模的設施將於2014年投產，該設施每年可處理35萬公噸廢物。

註：(2) 效率指產生的有用能量對輸入能量的比率。就熱能廢物處理的發電效率而言，輸入的能量主要為廢物所含的化學能源，而輸出的能量則為發電量。在此提供發電效率的數字，以作比較。參閱Department for Environment, Food and Rural Affairs (2013b)。

(3) 該廠房所屬的廢物處理設施每年可合共處理約140萬公噸都市固體廢物。

附錄(續)

表 — 各種熱能廢物處理技術主要特點比較表(續)

	焚化	氣化	熱解	等離子氣化
所需土地面積 ⁽⁴⁾	• 27 000 平方米至 307 000平方米。	• 16 800平方米至137 600平方米。		
棄置的廢物殘渣	• 減少廢物體積 90% 至 95%。	• 減少廢物體積 90%至95%。	• 減少廢物體積達90%。	• 沒有廢物殘渣需要棄置。
排放量	• 排放量較高，包括重金屬、二噁啞及呋喃。	• 排放量較低。	• 排放量較低。	• 零排放／有限排放。
處理都市固體廢物的可靠程度	• 全球有多座成功運作的設施。 • 較其他熱能廢物處理技術簡單。	• 該類技術在處理都市固體廢物方面上相對較新，有關資料甚少。 • 該類技術的運作問題曾被紀錄。 • 在運作上較為複雜。		
目前全球設置有關設施的數目	• 約1 000座。	• 少於100座。	• 約25座。	• 約15座。

註：(4) 在公共領域中有關熱能廢物處理設施所佔土地面積的資料甚少，表內所列數據可作為參考例子。該等數據來自英國有關熱能廢物處理設施的數據，當中包括設施本身及配套基建設施所佔的土地面積。參閱Department for Environment, Food and Rural Affairs (2013a and 2013c)。

參考資料

1. Air Products. (2013) *Air Products Tees Valley Renewable Energy Facility*. Available from: <http://www.airproducts.co.uk/microsite/uk/teesvalley/> [Accessed February 2014].
2. Council for Research in Technology for Generating Energy from Waste. (2013) *Review of State-of-the-Art Waste-to-Energy Technologies: Stage Two – Case Studies*. Available from: http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/noticias_eventos/WSP%20Was%20to%20Energy%20Technical%20Report%20Stage%20Two.pdf [Accessed February 2014].
3. Department for Environment, Food and Rural Affairs. (2013a) *Advanced Thermal Treatment of Municipal Solid Waste*. Available from: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221035/pb13888-thermal-treatment-waste.pdf [Accessed February 2014].
4. Department for Environment, Food and Rural Affairs. (2013b) *Energy from Waste: A guide to the debate*. Available from: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221042/pb13892-energy-from-waste.pdf [Accessed February 2014].
5. Department for Environment, Food and Rural Affairs. (2013c) *Incineration of Municipal Solid Waste*. Available from: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf [Accessed February 2014].
6. Environmental Protection Department. (2011) *Tackling Imminent Waste Management Problem: Integrated Waste Management Facilities*. Available from: http://www.epd.gov.hk/epd/tc_chi/environmentinhk/waste/prob_solutions/files/IWMF_Briefing_to_Media_on_Feb17.pdf [Accessed February 2014].

7. European Union. (2010) *Official Journal of the European Union: Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on Industrial Emissions (integrated pollution prevention and control) (Recast) (Text with EEA relevance)*. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:en:PDF> [Accessed February 2014].
8. Global Alliance for Incinerator Alternatives. (2012) *Incinerators: Myths vs. Facts about "Waste to Energy"*. Available from: http://www.no-burn.org/downloads/Incinerator_Myths_vs_Facts%20Feb2012.pdf [Accessed February 2014].
9. Harrison, R.M. (2014) *Pollution: Causes, Effects and Control*. 5th ed. Cambridge, UK.
10. Renewable Energy Association. (2011) *Energy from Waste: A Guide for Decision-Makers*. Available from: <http://www.r-e-a.net/pdf/energy-from-waste-guide-for-decision-makers.pdf> [Accessed February 2014].
11. Renewable Energy from Waste. (2013) *Fired Up*. Available from: <http://www.rewmag.com/rew1213-large-scale-gasification.n.aspx> [Accessed February 2014].
12. Stantec Consulting Limited. (2011) *Waste to Energy: A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices Final Report*. Burnaby, British Columbia.
13. Stantec Consulting Limited. (2013) *Waste Resource Strategy Update: Halifax Regional Municipality*.
14. The International Solid Waste Association. (2013) *ISWA White Paper: Alternative Waste Conversion Technologies*. Available from: http://www.iswa.org/index.php?eID=tx_iswaknowledgebase_download&documentUid=3155 [Accessed February 2014].
15. Viridor Limited. (2014) *Runcorn EfW Commissioning Begins*. Available from: <http://www.viridor.co.uk/news-blogs/show/runcorn-energy-from-waste-commissioning-begins> [Accessed February 2014].
16. Young, G.C. (2010) *Municipal Solid Waste to Energy Conversion Processes: Economic, Technical, and Renewable Comparisons*. John Wiley & Sons Inc, New Jersey.