

# 下水污泥乾燥技術

財團法人中興工程顧問社

朱敬平 副主任

104.09.22



# 目錄

- 污泥水分分布
- 下水污泥乾燥推動背景
- 污泥乾燥設施類型
- 實際案例
- 未來展望

# 污泥水分分布

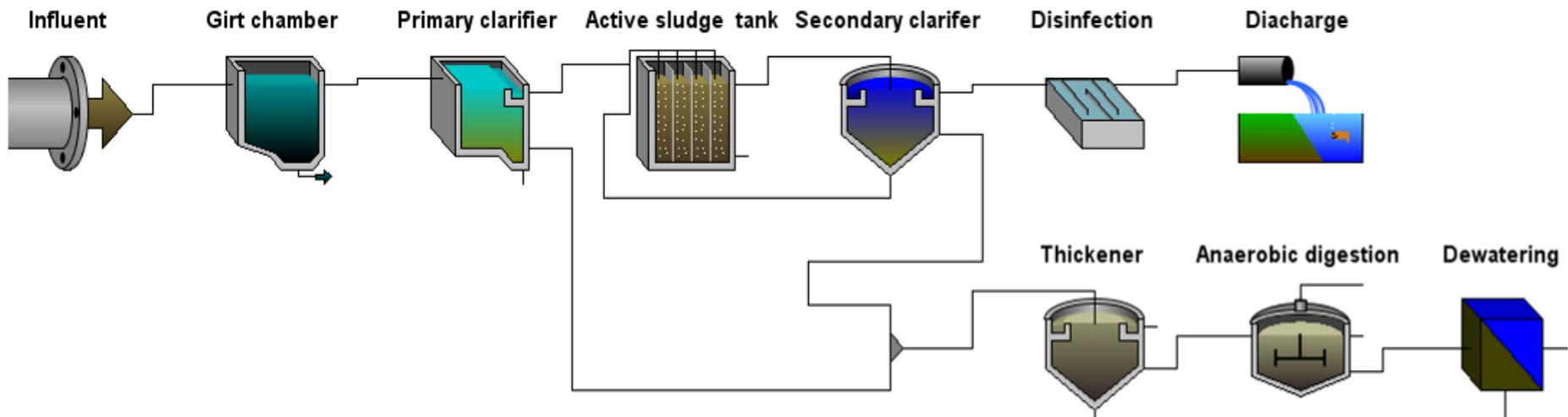
# 國內典型污水處理程序

## ■ 污泥來源

- 污水處理自水中移除污染物所產生之廢棄物，包括初沉池所產生之初級污泥，與生物處理所產生之生物污泥

## ■ 脫水形式 (機械為主)

- 帶濾脫水為主，少部分為離心/壓濾脫水



# 廢污水污泥水分組成

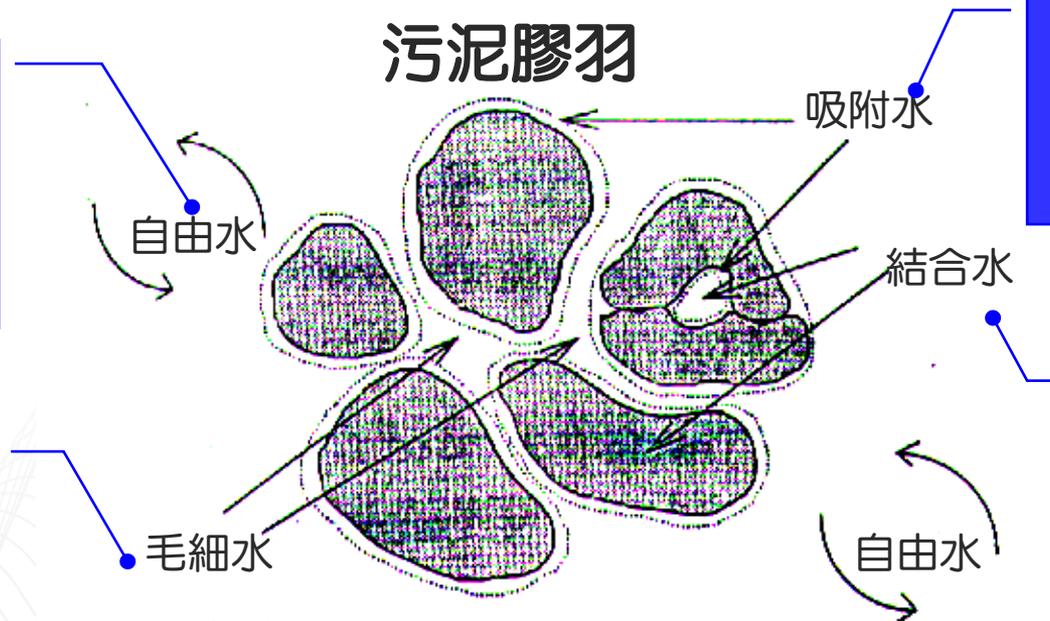
少部分於機械脫水階段移除  
多數需透過熱乾燥移除

濃縮階段即已移除

環繞於固體  
四週可自由  
流動並能以  
重力引出者

因毛細作用  
而被束縛在  
顆粒空隙者

機械脫水階段移除



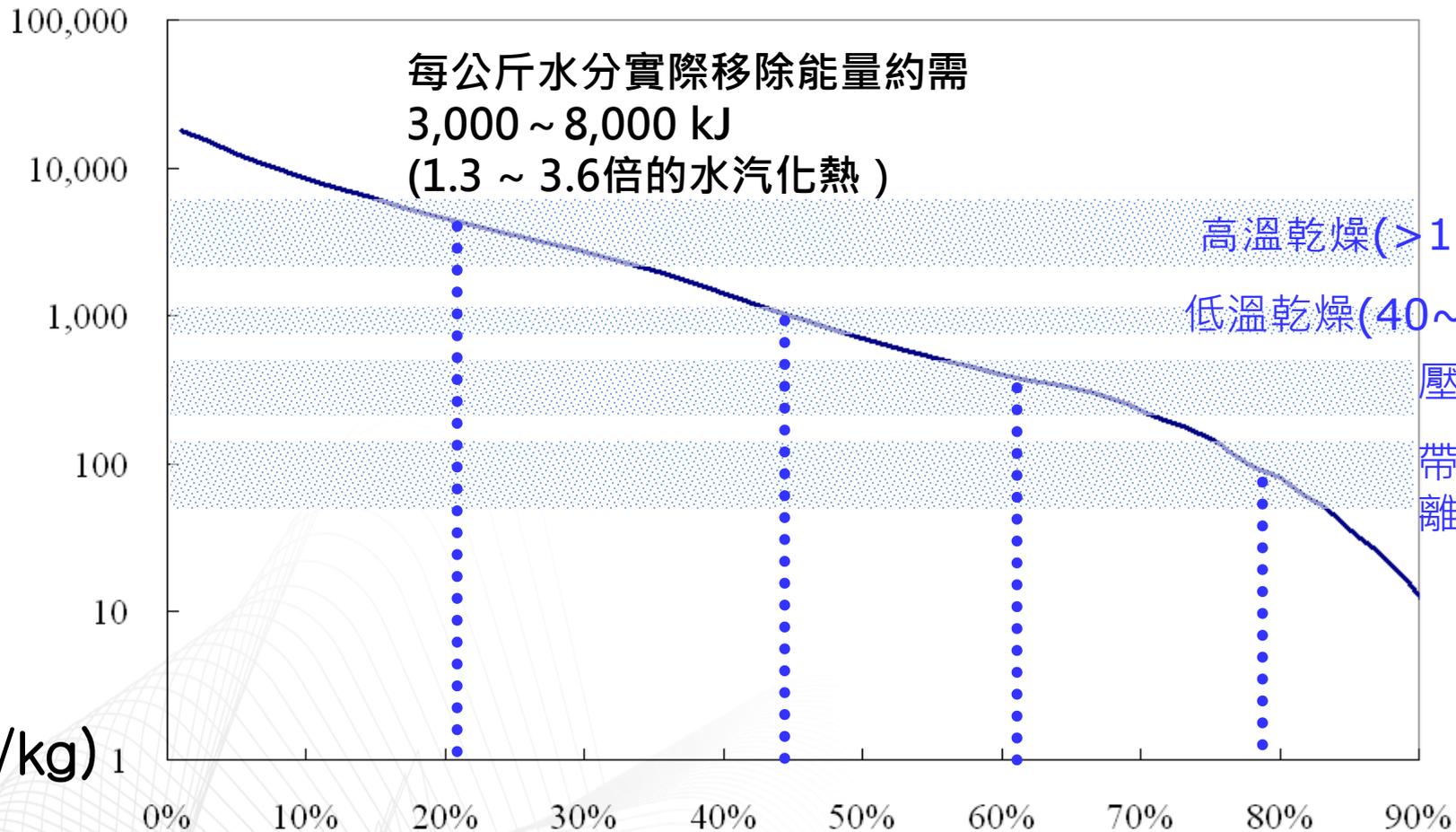
因凡得瓦力或氫  
鍵等物理作用吸  
附在固體表面者

以化學鍵方  
式結合在固  
體內部者  
需透過熱乾燥移除

# 從下水污泥中水分移除所需能量

移除污泥內水分所需投入能量

(kJ/kg)



下水污泥含水率

# 下水污泥乾燥推動背景

# 降低清除處理成本

有機污泥清除處理費已達每噸6,000~9,000元

相對於機械脫水污泥餅 (含水率80%)，乾燥至含水率30%以下，待清運污泥體積約減少70~80%



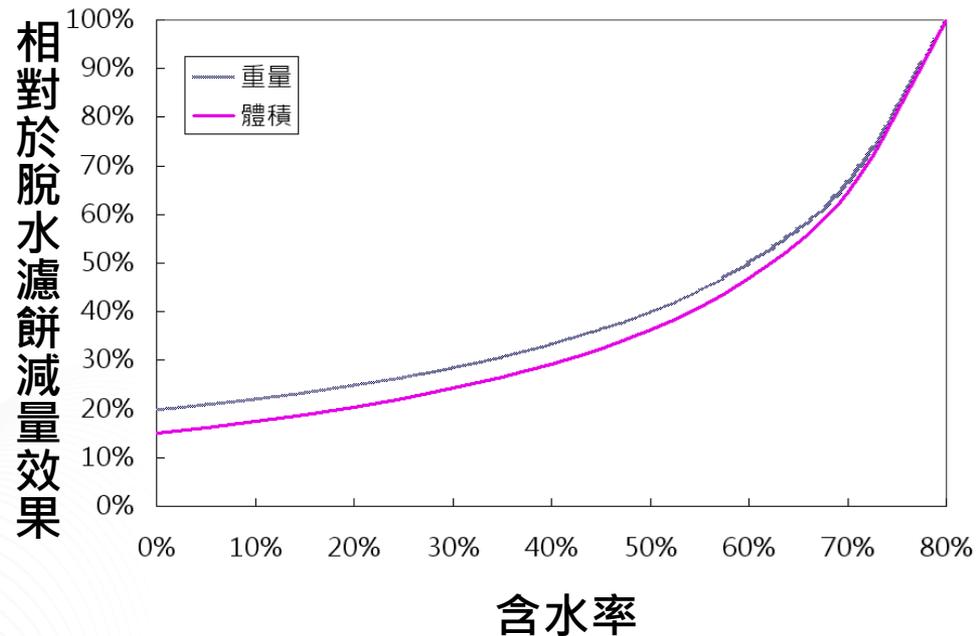
機械脫水污泥  
(含水率80%)



低溫乾燥污泥  
(含水率  
40~50%)



高溫乾燥污泥  
(含水率  
低於10%)

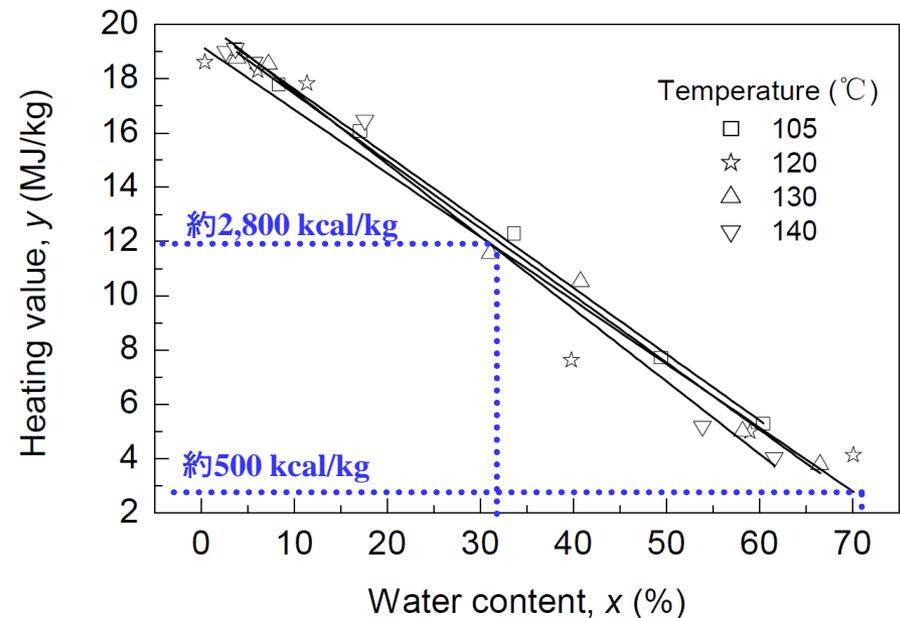
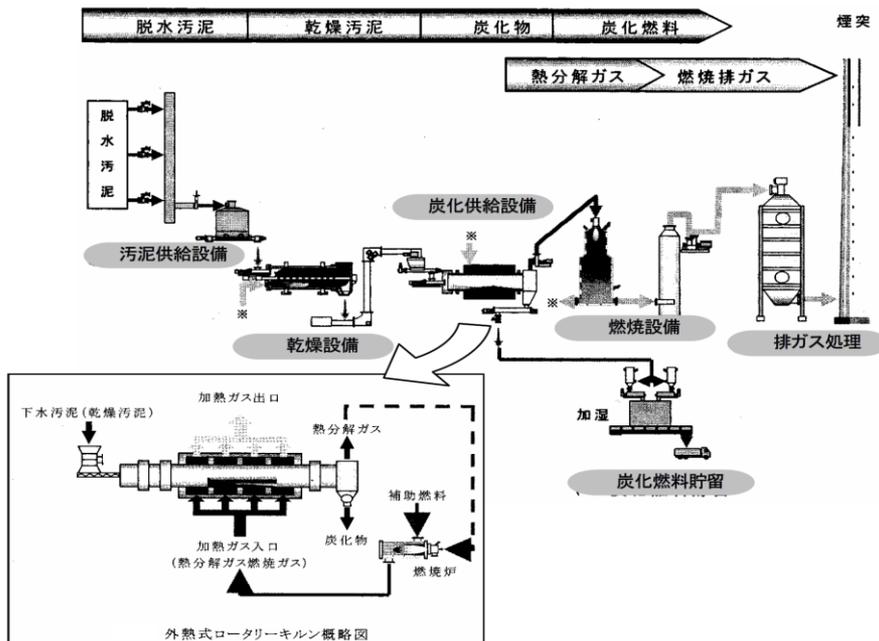


註：乾固體密度約1,200~1,400 kg/m<sup>3</sup>

# 提高處理機構或再利用機構收受意願

## 乾燥有助於改善現有問題

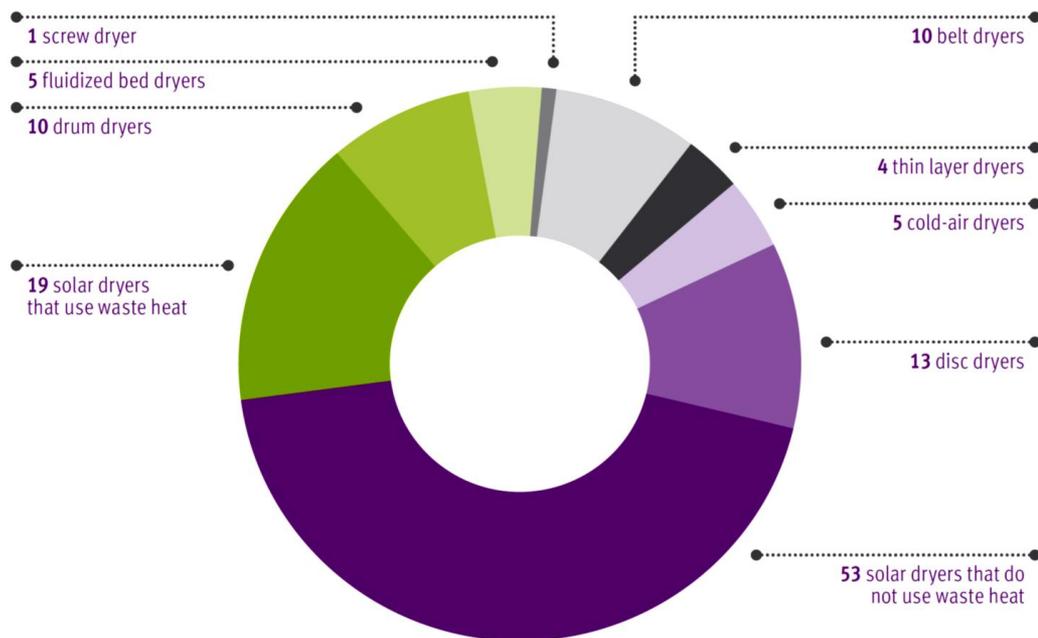
- 採材料化技術者，水分偏高則需額外成本以去除水分
- 採燃料化技術者，熱值偏低則污泥進料比例偏高時將影響爐體操作穩定度
- 採肥料化技術者，未乾燥污泥微生物量較難控制，亦不易翻堆





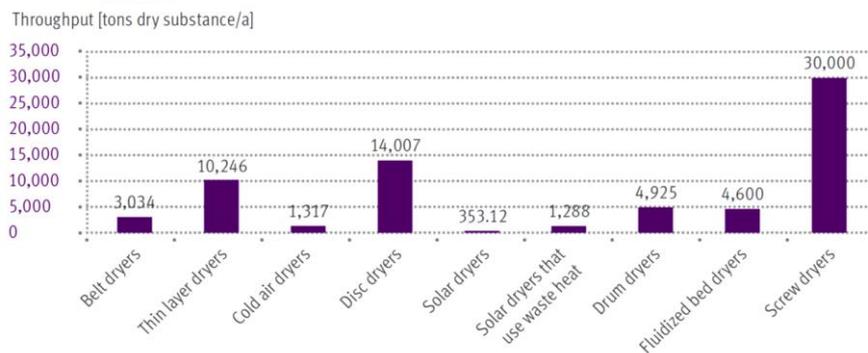
# 國外趨勢 — 德國

污泥乾燥日趨普及，機械乾燥亦逐漸成為主流



註：2013年統計

Heating medium	Drying apparatus
Flue gas	Drum dryer
District heating power plant flue gas	Fluidized bed dryer
Air	Drum dryer or belt dryer
Steam	Thin layer dryer, disc dryer, fluidized bed dryer
Pressurized water	Thin layer dryer, disc dryer, fluidized bed dryer
Thermal oil	Thin layer dryer, disc dryer, fluidized bed dryer
Solar energy	Solar dryer



# 應用限制

## ■ 是否具淨成本效益，因各廠而異

### ■ 廠區額外面積

- 初始設計未考慮乾燥床或乾燥機所需機房面積

### ■ 能量來源

- 能耗問題可利用厭氧消化產生熱源，降低天然氣使用量
- 惟多數廠厭氧消化槽未正常運轉，沼氣產生量不足

### ■ 工安、臭味等問題

- 需降低粉塵濃度，降低含氧量，配合適當監測系統，提高系統安全性
- 應避免臭味逸散(如置於室內，做第二道密閉負壓防堵)

# 應用限制 (續)

## 設備占地

日本經驗：約8 m<sup>2</sup>/tpd (60 tpd)

國內概況：約5 m<sup>2</sup>/tpd (100 tpd)

## 設備建設費

日本經驗：約NT\$500萬/tpd (100 tpd)

約NT\$1,000萬/tpd (20 tpd)

國內概況：約NT\$200~400萬/tpd

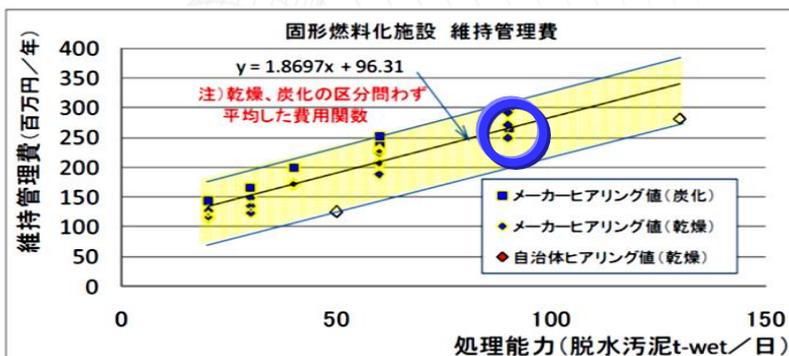
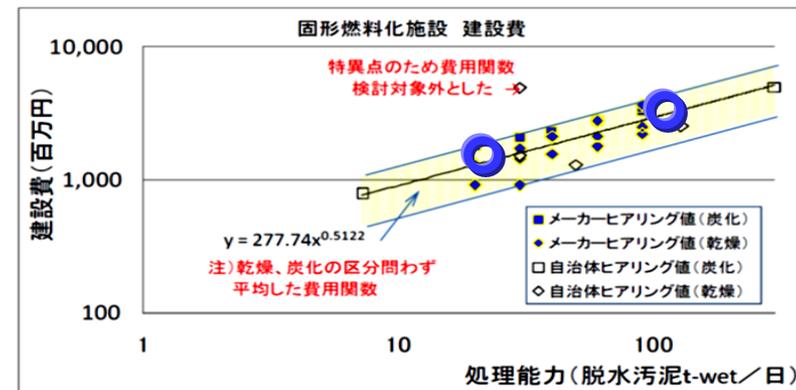
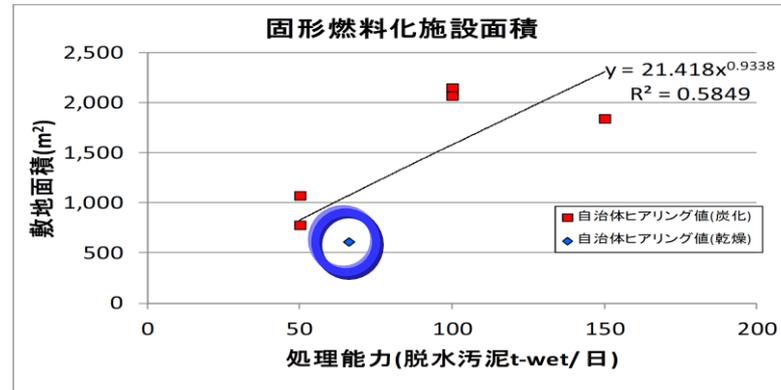
(100 tpd)

## 設備操作維護費

日本經驗：約NT\$1,900/ton

國內概況：約NT\$2,300/ton

(同為100 tpd)



# 污泥乾燥設施類型

# 污泥乾燥技術分類

依原理分為自然乾燥及機械乾燥

自然  
乾燥

乾燥床 (開放式)

太陽熱能乾燥屋 (室內型)

✓  
機械  
乾燥

熱風直接加熱式

旋轉式/氣流式/流化床式/  
噴霧/輸送帶式/多層床式

熱媒傳導加熱式

水蒸汽管式/槳式

輻射乾燥

微波/紅外線

除濕式乾燥

低溫冷凍(減壓)乾燥

# 熱風直接加熱式（對流式）

## 原理

- 利用熱風與污泥直接接觸，促使水分蒸發

## 熱源

- 一般以蒸汽最廣泛使用，可配合廠內廢熱（如厭氧消化槽沼氣燃燒）

## 常見機型

- 旋轉乾燥機
- 輸送帶式乾燥機
- 流化床式乾燥機
- 噴霧乾燥機
- 氣流乾燥機

## 特點

- 停留時間較短
- 可迴流乾燥污泥
- 建置價格較低
- 熱效率較低
- 出口廢氣量、粉塵與揮發性物質濃度高，氣味問題較難控制
- 操作安全顧慮較多 (如粉塵爆炸)

# 熱媒傳導加熱式（傳導式）

## 原理

- 藉由污泥與設備金屬壁之接觸間接加熱而蒸發水分

## 熱源

- 燃料 (熱媒油)、蒸汽、電熱等

## 常用機型

- 水蒸汽管式旋轉窯乾燥機
- 槳式乾燥機
- 盤式連續乾燥機

## 特點

■ 熱效率較高

■ 建置費用相對較高

■ 出口廢氣量、粉塵與揮發性物質濃度較低，臭味問題較容易控制

■ 熱傳面較易黏著污泥

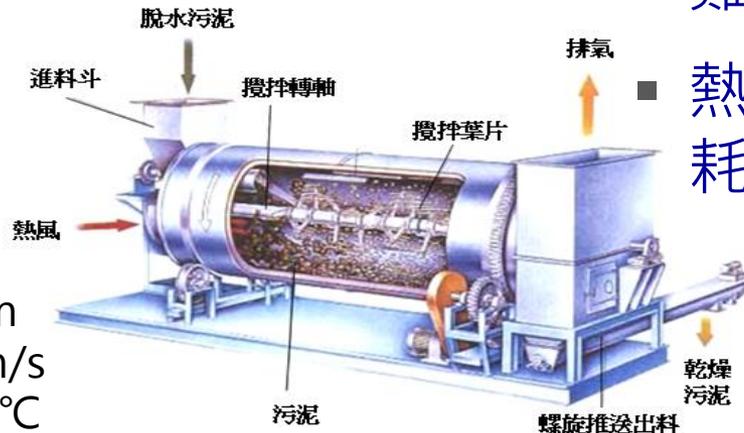
# 旋轉乾燥機 (Rotary kiln dryer)

## 操作方式

- 主體為直徑0.3~3 m且略帶傾斜之旋轉圓筒，長度約為直徑之4~10 倍
- 污泥從一端進料，圓筒內部裝有螺旋狀斜板攪動污泥，污泥與熱風接觸，再送往另一端之出口排出

## 特點

- 處理量大，清理容易
- 氣體循環再利用可減少尾氣處理負擔，有效控制系統氧氣量，提升安全性
- 熱風或蒸汽與污泥接觸而受污染，廢氣量與臭味較難控制
- 熱接觸介質需求較大，能耗亦大



## 操作條件

- 翻攪速度3~30 rpm
- 空氣流速1.5~2.5m/s
- 熱風溫度100~200°C

# 流化床式乾燥機 (Fluidized bed dryer)

## 操作方式

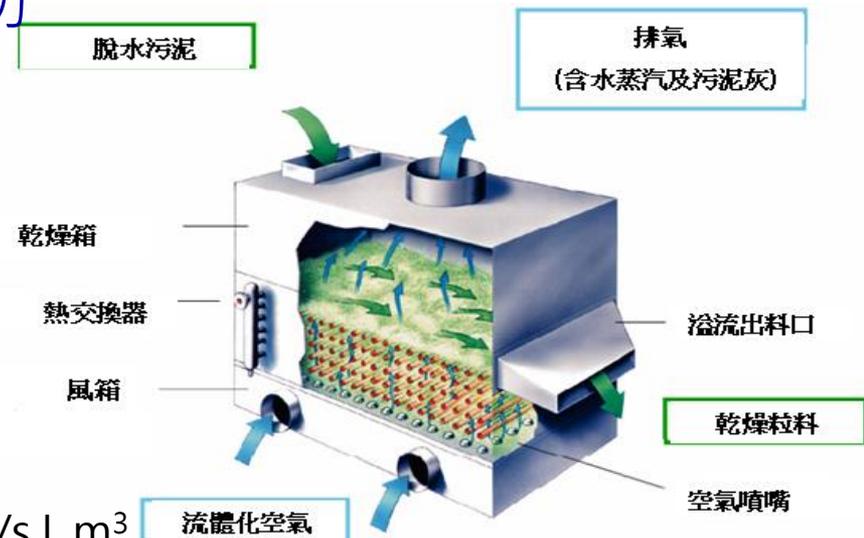
- 充填於細金屬網或多孔板上，從下方通熱風，讓氣體與固體粒子充分混合呈現流體化
- 流體化可增加有效熱傳面積，快速達到去除水分功能

## 特點

- 結合熱交換器之接觸乾燥及循環氣體之對流乾燥，
- 處理量大，維修較單純
- 乾燥後氣體流量大，廢氣冷卻與除塵等系統規模需求大

## 操作條件

- 熱效率約60~80%
- 體積熱傳係數約2,000~6,000 kcal/s.L.m<sup>3</sup>



# 旋風乾燥機 (Cyclone dryer)

## 操作方式

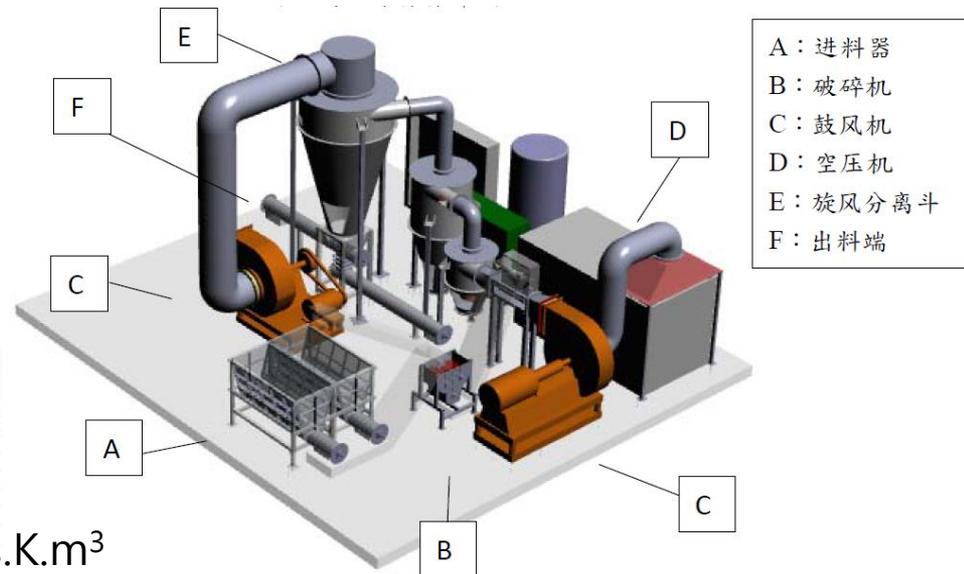
- 將濾餅粉碎至數百微米之微粒，使之分散於空氣中，由熱風攜帶乾燥後帶出
- 利用高速離心方式，使污泥通過氣流引起之高速碰撞而破碎，表面之水分受剪應力影響分離

### 操作條件

- 乾燥管長6 ~ 20 m
- 氣體速度30 ~ 50 m/s
- 體積熱傳係數2,000 ~ 6,000 kcal/s.K.m<sup>3</sup>
- 1 kg 乾燥氣體可蒸發0.1 ~ 0.15kg水分

## 特點

- 無需添加熱能，耗電量為熱處理之1/10~1/4



# 輸送帶式乾燥機 (Belt dryer)

## 操作方式

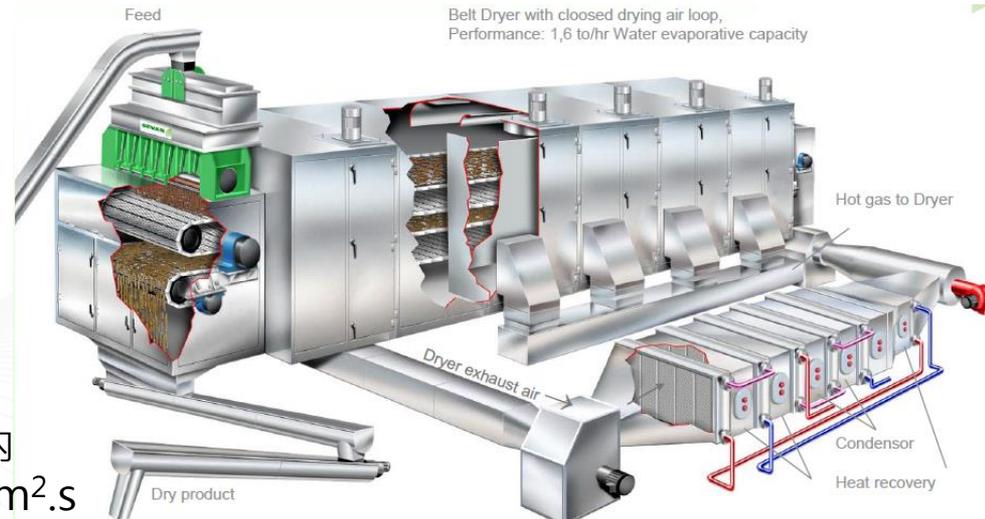
- 使用漏斗或滾動擠出機進料
- 在寬1~3 m的循環金屬網或多孔板輸送帶堆上3~15 cm的濾餅，從上方或下方施加熱風予以乾燥
- 乾燥濾餅隨輸送帶往前移動而排出

### 操作條件

- 輸送帶總長度一般在50 m以內
- 所需通風量約為 $0.6 \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$
- 通風溫度在 $100 \sim 200^\circ\text{C}$

## 特點

- 密閉廂體，粉塵較少
- 可採多層帶式可提高乾燥速率



# 鼓式乾燥機 (Drum dryer)

## 操作方式

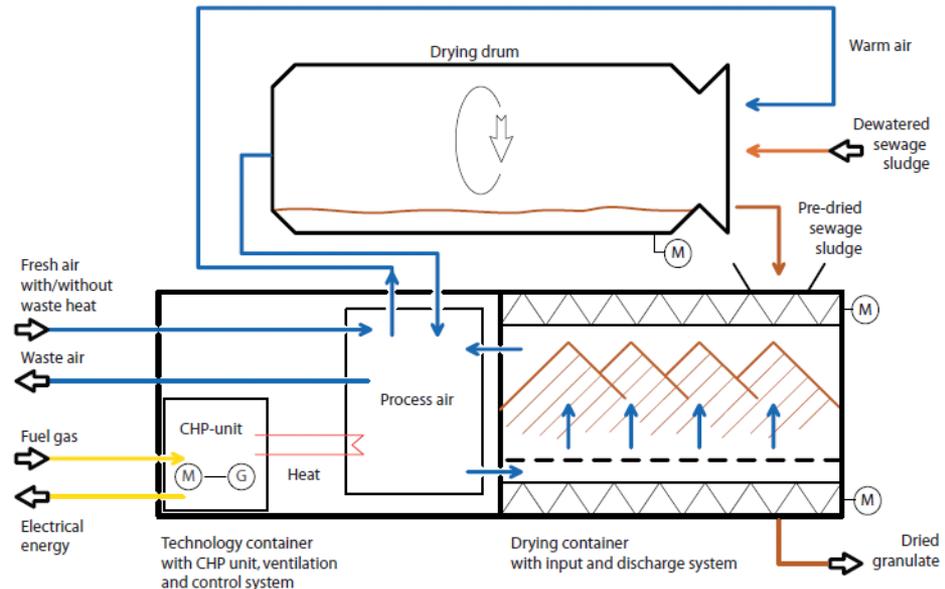
- 以一個或多個轉鼓 在內部進行加熱，將濾餅導入外壁上，間接受到加熱後而脫除水分
- 乾燥後的濾餅再予以刮除

## 操作條件

- 轉鼓直徑0.6 ~ 4.8 m
- 污泥層厚度0.5 ~ 1.5 mm
- 轉鼓轉速4 ~ 6 rpm
- 加熱介質溫度120 ~ 150°C

## 特點

- 適用於高含水率之進料污泥
- 透過調整污泥層厚度達到所需乾燥效果



# 槳式乾燥機 (Paddle dryer)

## 操作方式

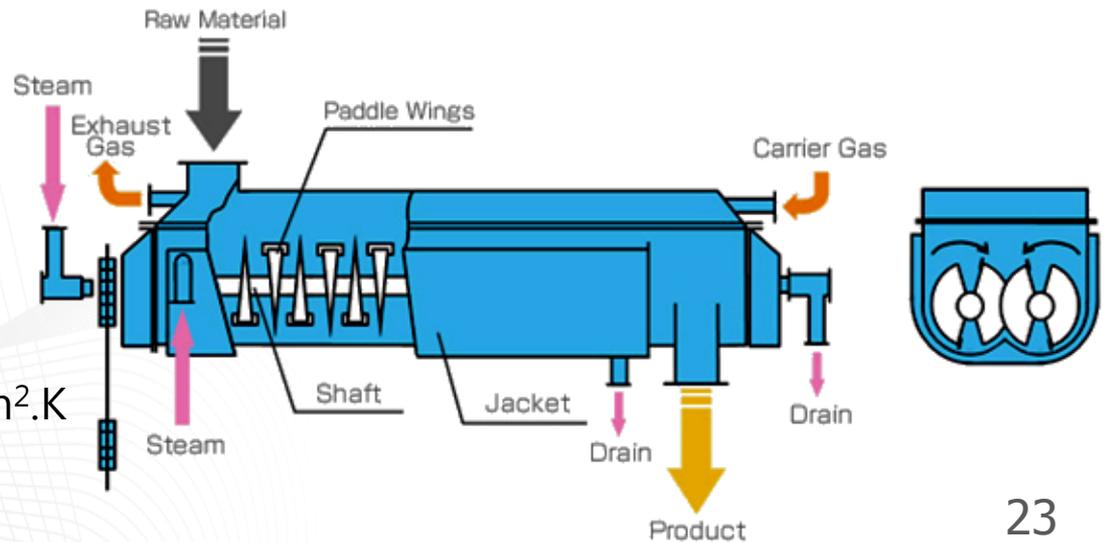
- 於橫臥圓筒中裝置攪拌槳葉，進料之污泥沿加熱面旋轉移動，同時被槳葉所翻攪，提升熱傳效果
- 最後由槳葉排出乾燥污泥

## 特點

- 排氣處理量少
- 排氣氧氣濃度維持2%以下，大幅降低爆炸與著火之危險性
- 多使用熱媒油為熱介質

### 操作條件

- 熱傳係數約為 $85 \sim 350 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- 熱媒油溫度約 $200 \sim 300^\circ\text{C}$



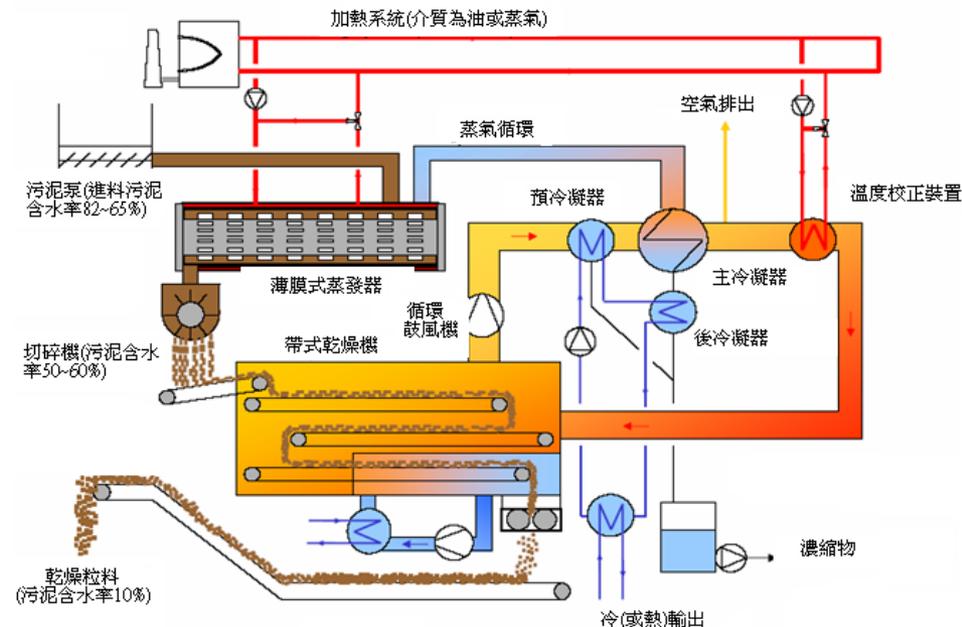
# 兩段式乾燥機 (Two-stage dryer)

## 操作方式

- 第一段「薄層乾燥機」
  - 以中心筒為主結構，利用中心筒與隔熱層間之蒸汽或熱煤油對內壁傳熱
  - 出口污泥含水率約50~60%
- 第二段「帶式乾燥機」
  - 經濟壓裝置與切碎機製成直徑5mm左右之條狀物，送至第二段
  - 輸送帶上開有小孔，可藉熱風循環提高乾燥效果
  - 污泥含水率控制於10~40%

## 特點

- 成型效果佳，且尺寸較易控制 (由切碎機控制)，減少粉塵產生與爆炸等意外發生機率
- 設備較多，所需空間較大



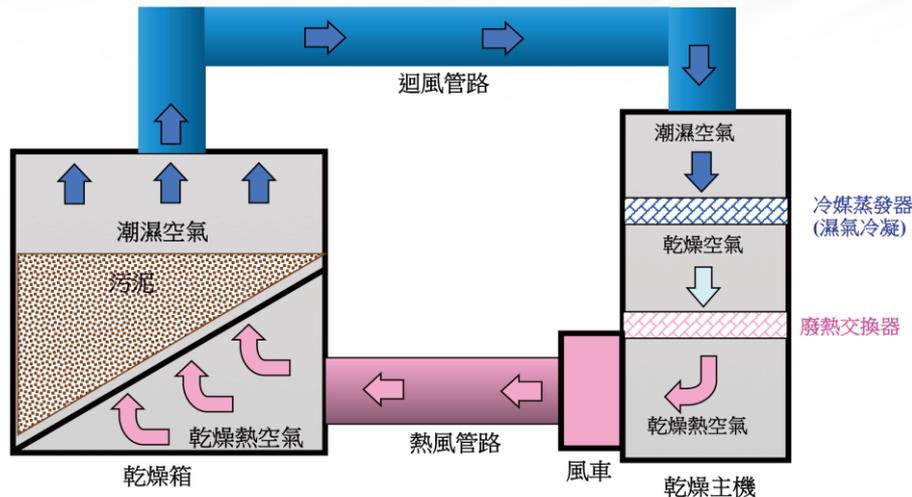
# 除濕乾燥 (Dehumidifying dryer)

## 操作方式

- 污泥水分於乾燥箱中被帶出，濕氣中的水分在冷凝器中凝結後，變為乾燥氣流，重新加熱並在系統內循環，用以加熱污泥
- 與食品冷凍乾燥原理類似

## 特點

- 密閉循環，幾無異味外逸
- 能耗低，電力消耗0.4kWh/kg H<sub>2</sub>O
- 多於70~80°C下運轉，產出污泥含水率約40~50%



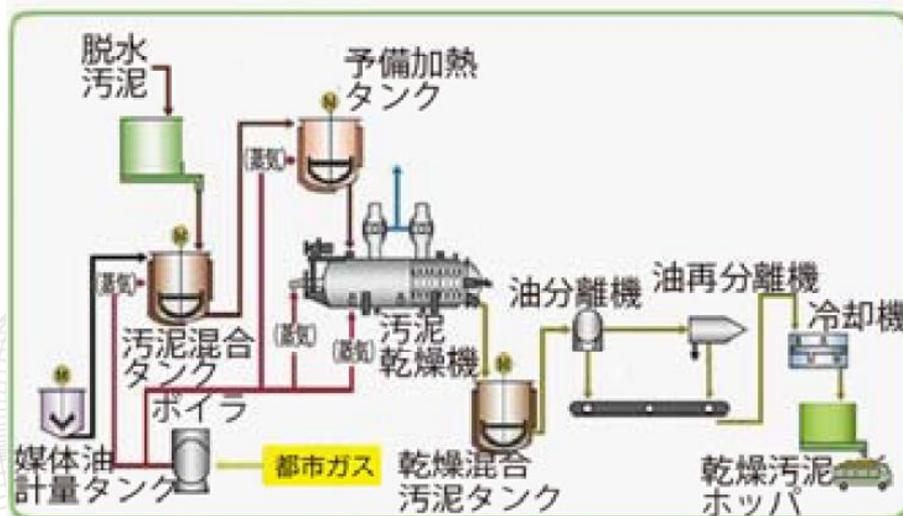
# 油溫減壓乾燥 (Reduced pressure dryer)

## 操作方式

- 將廢油作為熱媒（如廢食用油）
- 與污泥混合後加熱，將設備氣壓降低至0.6 atm，使沸點降低，於溫度85~90°C時使水分蒸發

## 特點

- 乾燥時間短
- 最低含水率可低於10%
- 需以另外程序將污泥與油分分離



卡車型油溫減壓乾燥設備

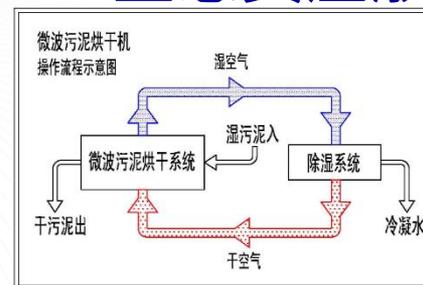
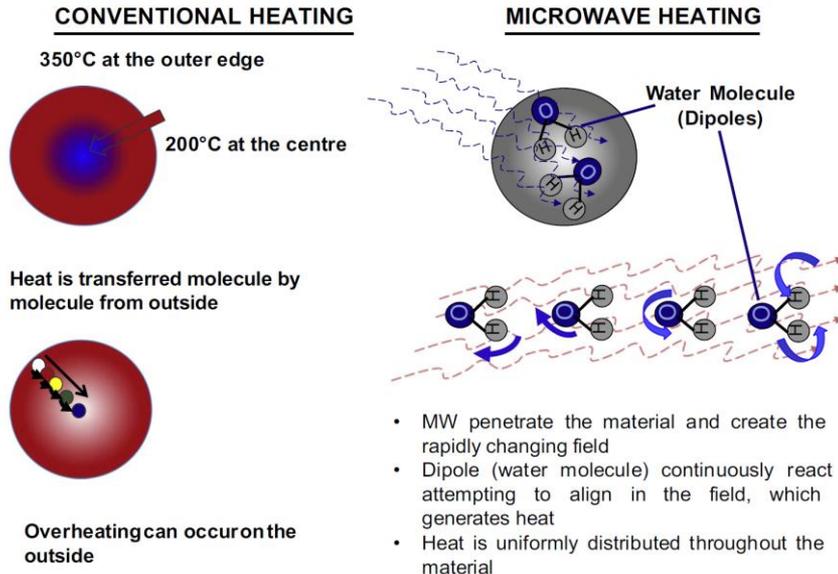
# 微波乾燥 (Microwave dryer)

## 操作方式

- 利用微波加熱，配合抽風形成負壓對流，以移出污泥內水分
- 乾燥設備負壓空間可

## 特點

- 微波穿透力高，機台操作溫度低，能量轉換率高，可使物料均勻乾燥
- 乾燥時間較傳導或對流法短 (停留時間5~10 min)
- 在密閉廂體內連續式進料，無微波外洩之疑慮，防止惡臭溢散



# 紅外線乾燥 (Infrared dryer)

## 操作方式

- 利用紅外線輻射所產生的輻射熱能，以非接觸方式提供污泥水分蒸發熱



## 特點

- 紅外線具穿透能力，能內外同時加熱，污泥內外溫度均一，溫度易控制
- 熱效率較傳導或對流法高，節省時間和能源
- 可局部加熱單位面積設傳輸量大，可減少設備空間
- 不直接燃燒化石燃料，廢氣問題較少

# 污泥乾燥技術比較

污泥乾燥形式	污泥用系統 商業化普及度	有機質破壞情況	廢氣產生量	加熱源溫度 (°C)	熱效率 (%)	處理方式	設備占地面積	設備價格
熱風直接加熱式	高	有	高	100~200	~60	連續	大	中等
熱媒傳導加熱式	高	較少	低	~200	80~90	連續	大	高
除溼式乾燥	中等	較少	低	~70	80~90	批次	小	中等
油溫減壓乾燥	低	較少	中等	~100	~60	批次	小	中等
微波乾燥	低	較少	低	~100	>95	連續	大	高
紅外線乾燥	低	較少	低	~100	>95	連續 批次	大	高

# 實際案例

# 迪化污水處理廠 (台北)

## 處理量能

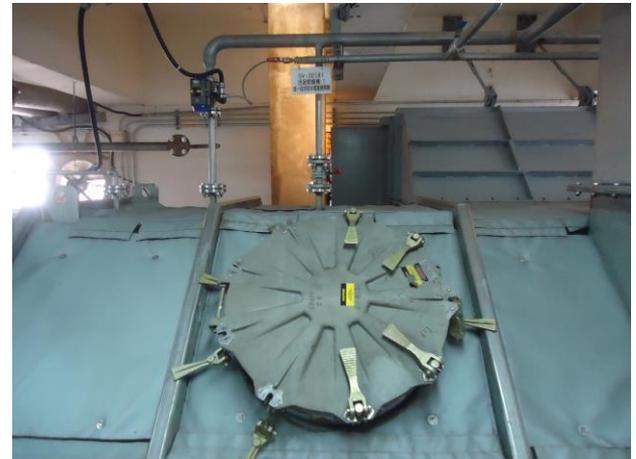
- 兩套設施 (槳式乾燥機)
- 設計量共計140噸/日 (80%含水率)，實際約處理100~110噸/日

## 能源

- 天然氣輔以厭氧消化產生之沼氣
- 使用熱媒油間接對污泥加熱

## 產出污泥

- 含水率設計值小於30%，實際5~10%
- LHV約2,500~3,000 kcal/kg



# 林口水資源回收中心 (新北)

## 處理量能

- 一套設施 ( 旋風乾燥機 )
- 進料量約1噸/日(80%含水率)

## 能源

- 以鼓風機帶動高速氣流乾燥污泥

## 產出污泥

- 直接產出含水率約40~50%
- 配合後續翻堆曬乾，達30%
- 混合木屑造粒後LHV超過  
2,500 kcal/kg



# 白龍港污水處理廠（中國上海）

## 處理量能

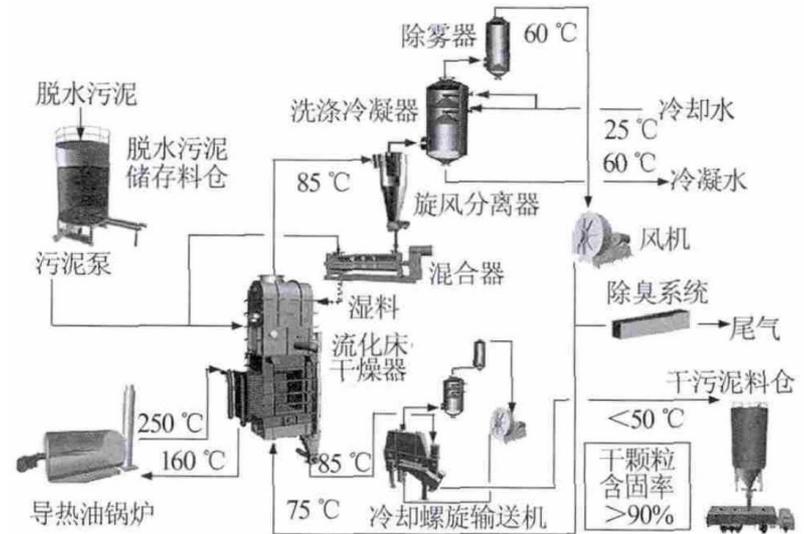
- 三套設施（流化床乾燥機）
- 每套每小時處理量能為1,100公斤乾基污泥（相當於80%含水率污泥100噸/日）

## 能源

- 利用厭氣消化槽沼氣
- 每蒸發1 kg  $H_2O$ 約消耗3,000 kJ熱量

## 產出污泥

- 乾燥後污泥含水率10~30%
- 顆粒尺寸1~4 mm



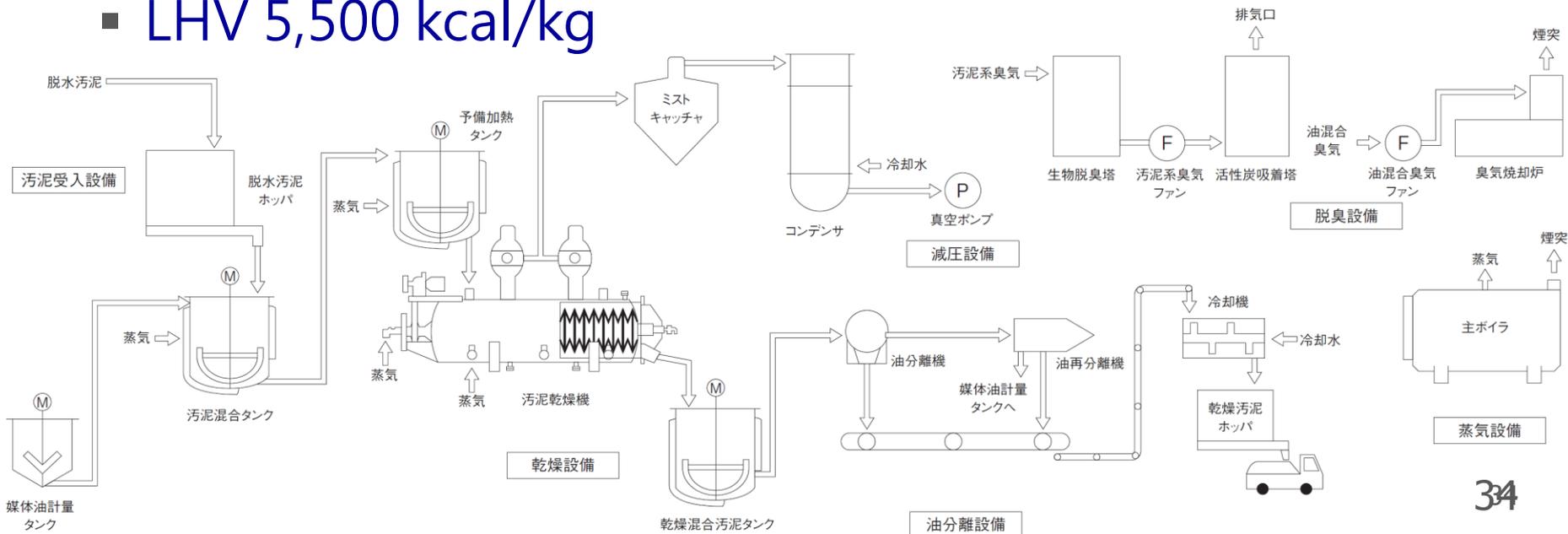
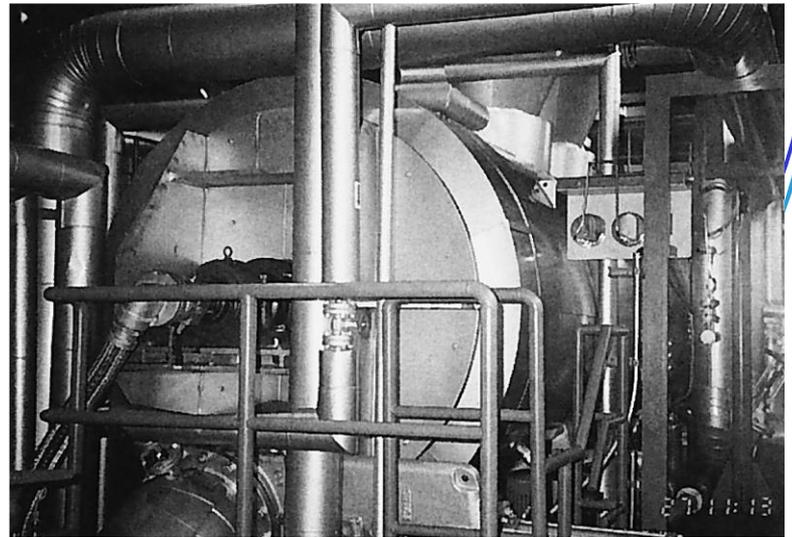
# 御笠川污水廠（日本福岡）

## 處理量能

- 油溫減壓乾燥機
- 進料量約22噸/日

## 產出污泥

- 含水率2%
- LHV 5,500 kcal/kg



# 新庄市污水廠 (日本山形)

## 處理量能

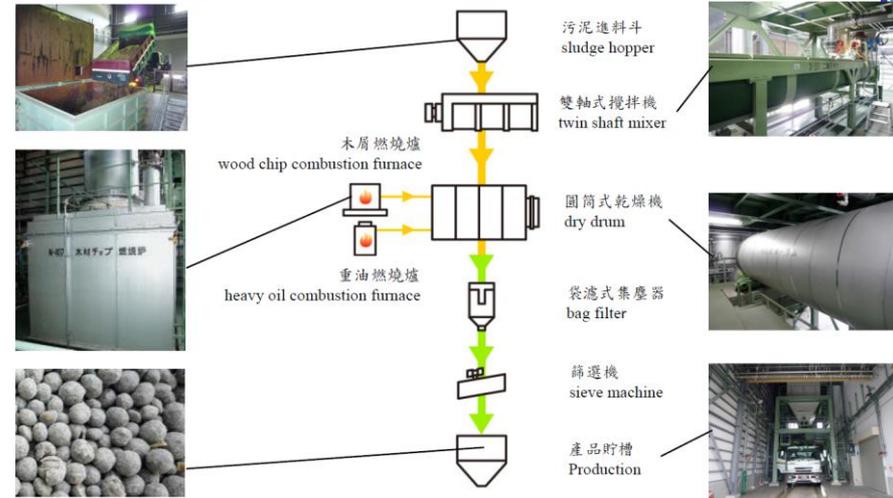
- 對流式旋轉乾燥機
- 進料每日30噸 (80%含水率)

## 能源

- 利用厭氣消化槽沼氣

## 產出污泥

- 含水率 < 8 %
- 粒徑為3~4 mm
- LHV 4,000 kcal/kg  
(供造紙廠作為燃煤替代燃料)



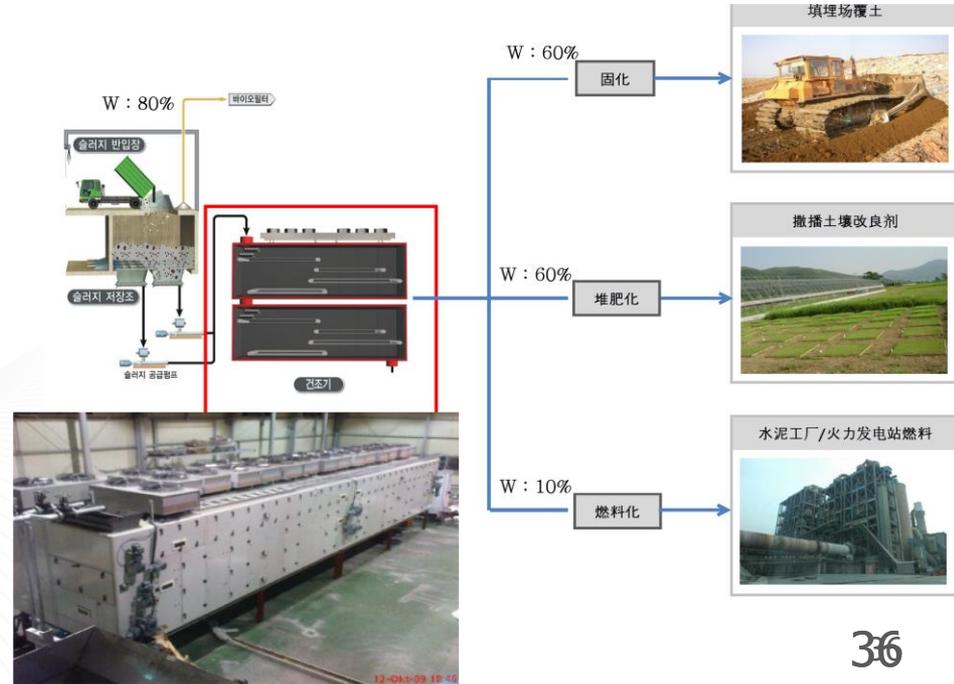
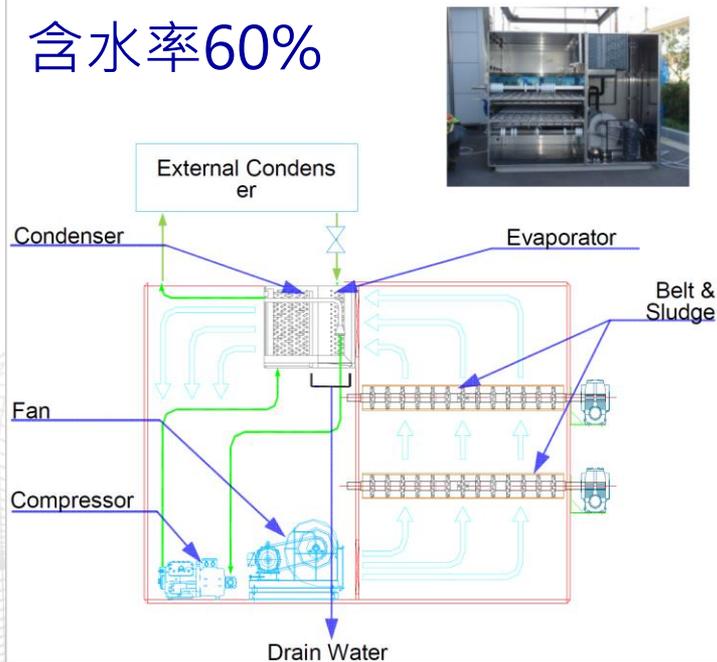
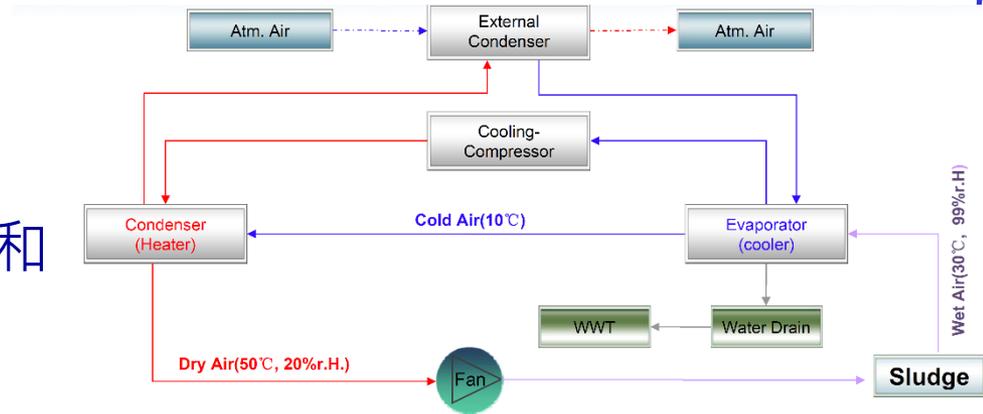
# 大邱污水廠 (韓國大邱)

## 處理量能

- 帶型除濕乾燥機
- 兩期工程，分別為每天270和165公噸

## 產出污泥

- 含水率60%



# 樟宜水資源回收中心（新加坡）

## 處理量能

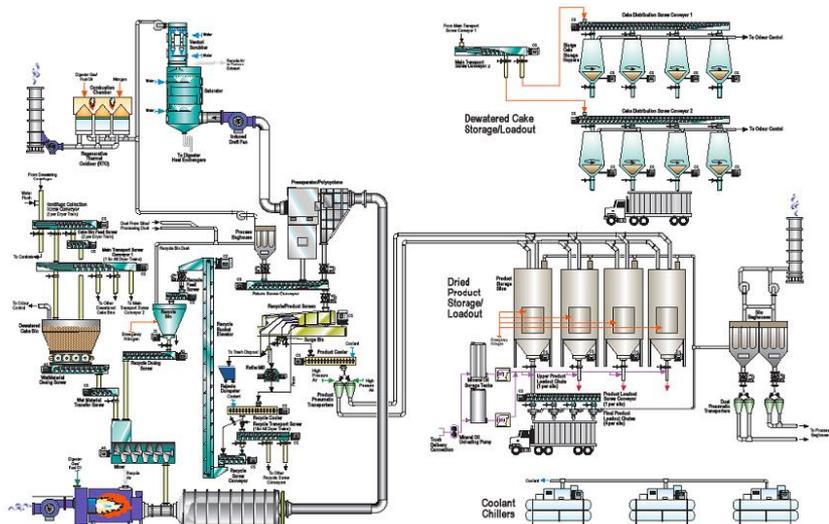
- 五套設備 (鼓式乾燥機)
- 實際處理量約300噸/日 (進料污泥含水率75%)

## 能源

- 厭氧消化沼氣輔以天然氣

## 產出污泥

- 含水率4~8%
- 造粒1~4 mm



# Valenton (法國巴黎)

## 處理量能

- 三套設備 (鼓式乾燥機)
- 每套約40噸/日  
(進料污泥含水率75%)
- 集中式污泥處理設施

## 能源

- 沼氣、外來天然氣

## 產出污泥

- 含水率8%



# Bran Sands (英國)

## 處理量能

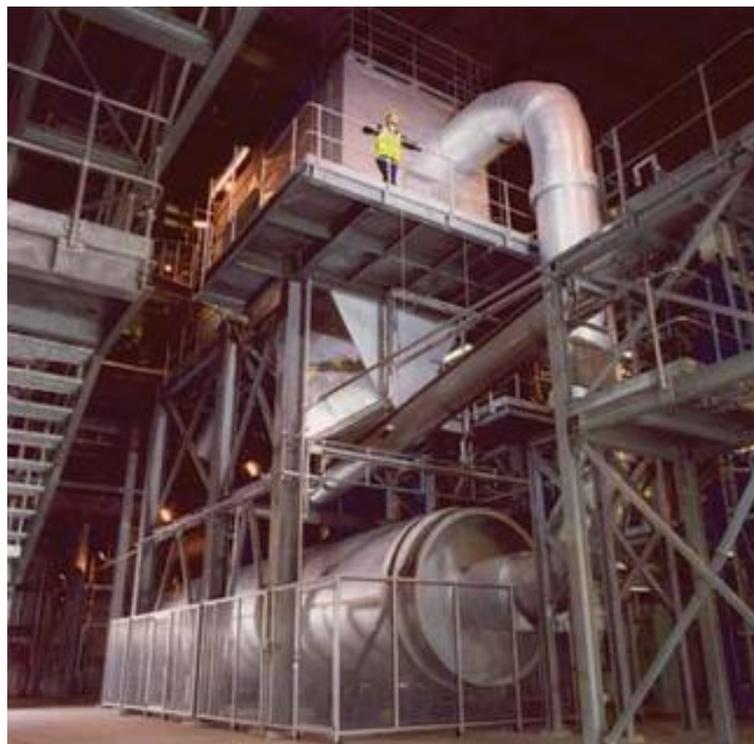
- 七套設備 (鼓式乾燥機)
- 每套約40噸/日，全年可處理90,000噸 (進料污泥含水率75%)
- 集中式污泥處理設施

## 能源

- 沼氣、外來天然氣、煤油

## 產出污泥

- 含水率8%
- 造粒粒徑1~4mm



# 結論

# 下水污泥乾燥推動方向

## ■ 乾燥為污泥減量措施之重要環節

- 減少清除處理成本
- 預期有利於處理機構與再利用機構收受
- 各種用途產品因成本降低，預期較能為下游接收段接受，有利於污泥去化

## ■ 優先於設有厭氧消化槽或污泥產量穩定之大型污水處理廠設置乾燥設備

- 具經濟規模，降低單位重量建置成本
- 厭氧消化槽雖未處於正常水準，沼氣或可減少天然氣使用
- 可協助處理同一縣市內小型污水廠之污泥

# 下水污泥乾燥推動方向 (續)

## ■ 使污泥有機資源預期得到最大之利用

- 全量送往垃圾焚化爐、汽電共生廠或大型鍋爐之化工廠，作為燃料化使用
- 達到溫室氣體減量效果

## ■ 有待持續累積相關操作經驗

- 國內各事業廢污水處理設施設有乾燥設備僅一百餘家，且超過六成為無機污泥產源
- 依國內現況，選用設備時需考慮污泥乾燥過程衍生之臭味問題與後續防治作業
- 有機污泥之操作經驗有待持續累積與知識擴散



敬請指正