

# 汙泥問題之探討

柯慶明\*

## 前　　言

廢水處理之結果產生污泥，污泥經常為液體或半液體狀態，其含水量視其處理程序而異。在處理所去除之成份中，污泥所含體積至為龐大，污泥處理之程序與方法也很繁雜，成為廢水處理中極為頭疼之問題。如現在美國，產生 14,000 乾物／日之污泥，到 1985 年時，預計可產生 24,000 乾物／日之污泥量，因此引起了美國 EPA 或私人企業對於污泥之處理與處分之注意。一般言之，環境工程師或學者只留心廢水處理程序與方法，較不重視污泥之處理與處分問題，實際上，污泥之處理、處分問題及所需經費常影響到廢水處理本身，又污泥處分也會引起二次公害問題，是故吾人不能不重視污泥之處理與處分問題矣。污泥之處理程序較為複雜其費用也較大，污泥之最終處分與利用，近來也漸漸被重視。

## 一、汙泥之定義

污水處理是將污水中存在之浮游物質、膠質物質加以去除分離，或以微生物分解為目的之方法，無論何種方法，固體物質都可從處理水中沈降分離，此沈降分離之固體物質稱為污泥 (Sludge)。

## 二、汙泥之種類

污水污泥由處理工程與操作方法之不同，可大別為下列之種類：

- (1) 篩分離
- (2) 沈砂分離
- (3) 預曝 (氣)
- (4) 初級沈澱
- (5) 曝氣池
- (6) 二次沈澱
- (7) 污泥處理設施

其詳細情形如表一所示。

\* 中興大學環工系講師

表一 標準廢水處理設施所產生之固體物或污泥

單元操作或程序	固體物或污泥型態	備註
篩 分 離	粗 大 固 體 物	粗大固體物常粉碎後迴送至另外處理設備而去除之
沈 砂 分 離	砂 與 浮 渣	在沈砂去除設施中經常不設浮渣去除設施
預 曝 (氣)	浮 渣	某些處理廠，預曝(氣)池不設浮渣去除設施
初 級 沈 澱	初級汚泥與浮渣	汙泥與浮渣兩種量依收集系統與工業廢水是否流入本系統而異
曝 氣 池	浮 游 固 體 物	浮游固體物由 BOD 之轉換而產生，曝氣池之廢物常用浮除濃縮法濃縮活性廢泥
二 次 沈 澱	二次汚泥與浮渣	美國環境保護局現已要求二次沈澱池需有浮渣去除之設施
污 泥 處 理 設 施	污 泥 與 灰	污泥與灰之含水量依所使用程序與操作方法而異

除此以外，處理以上之污泥而產生濃縮污泥、脫水污泥、乾燥污泥與焚燒灰等。

無論何種污泥，其水分及有機物含有量都很大，如不經處理而棄於地上，易引起腐敗而發生惡臭之味道。又如放流於河川，也易引起河川污染問題，因此需要污泥之處理與最終處分。

### 三、污泥之成分

污泥之成分可分為物理與化學成分，化學成分如表二，物理成分如表三。

表二 未處理與消化處理污泥之典型化學成分

項 目	未 處 理 初 級 污 泥		消 化 污 泥	
	範 圍	標 準	範 圍	標 準
總固體物 (TS)%	2.0~8.0	5.0	6.0~12.0	10.0
揮發性固體物 (TS%)	60~80	65	30~60	40.0
油與脂 (溶於醚 TS%)	6.0~30.0	—	5.0~20.0	—
蛋白質 (TS%)	20~30	25	15~20	18
氮 (N, TS%)	1.5~6.0	4.0	1.6~6.0	4.0
磷 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , TS%)	0.8~3.0	2.0	1.5~4.0	2.5
鉀 (K <sub>2</sub> O, TS%)	0~1.0	0.4	0.0~3.0	1.0
纖維素 (TS%)	8.0~15.0	10.0	8.0~15.0	10.0
矽酸 (SiO <sub>2</sub> , TS%)	15.0~20.0	—	10.0~20.0	—
PH 值	5.0~8.0	6.0	6.5~7.5	7.0
鹼 (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	500~1500	600	2500~3500	3,000
鐵 (非硫化物)	2.0~4.0	2.5	3.0~8.0	4.0
有機酸 (mg/L as HAc)	200~2000	500	100~600	200
熱含量 (MJ/kg)	14~23	16.5 <sup>a</sup>	6~14	9 <sup>b</sup>

a 基於揮發性物質之65%

b 基於揮發性物質之40%

註：MJ/kg × 429.92 = Btu/lb

表三 各種廢水處理程序所產生污泥之典型物理特性

處 理 程 序	污 泥 固 體 物 重 比	污 比	泥 重	乾燥固體物 Kg/10³m³	
				範 圍	標 準
初 步 沈 澱	1.4	1.02	110~ 170	150	
活 性 污 泥 (廢污泥)	1.25	1.005	70~ 100	85	
滴 濾 (廢污泥)	1.45	1.025	55~ 90	70	
延 長 曝 氣 (廢污泥)	1.30	1.015	80~ 120	100 <sup>a</sup>	
曝 氣 塘 (廢污泥)	1.30	1.010	80~ 120	100 <sup>a</sup>	
過 濾	1.20	1.005	10~ 20	15	
初步沈澱池加化學藥品去除磷					
低濃度石灰 (350~500 mg/L)	1.90	1.04	250~ 400	300 <sup>b</sup>	
高濃度石灰 (800~1600 mg/L)	2.20	1.05	600~1280	800 <sup>b</sup>	
浮懸成長氯化	—	—	—	— <sup>c</sup>	
浮懸成長去氮	1.20	1.005	10~30	16	
粗 糙 過 濾	1.28	1.020	—	— <sup>d</sup>	

a 假設未經初級處理

b 經初級沈澱之去除污泥處理

c 可忽略

d 包括生物二級處理程序產生之污泥

註 : Kg/10³m³ × 0.0083 = lb/10³ gal

#### 四、污泥之特性

由廢水處理廠所產生之污泥，吾人必須加以有效處理或處分才不致引起二次公害，已如第二節所述。要處理污泥必先了解污泥之特性，把握污泥之物理、化學諸性質。直接有關性質，舉例之，如水分、腐敗性、消化之難易度、脫水性、燃燒價值、肥料價值等。經廢水處理產生污泥之特性示如表四。

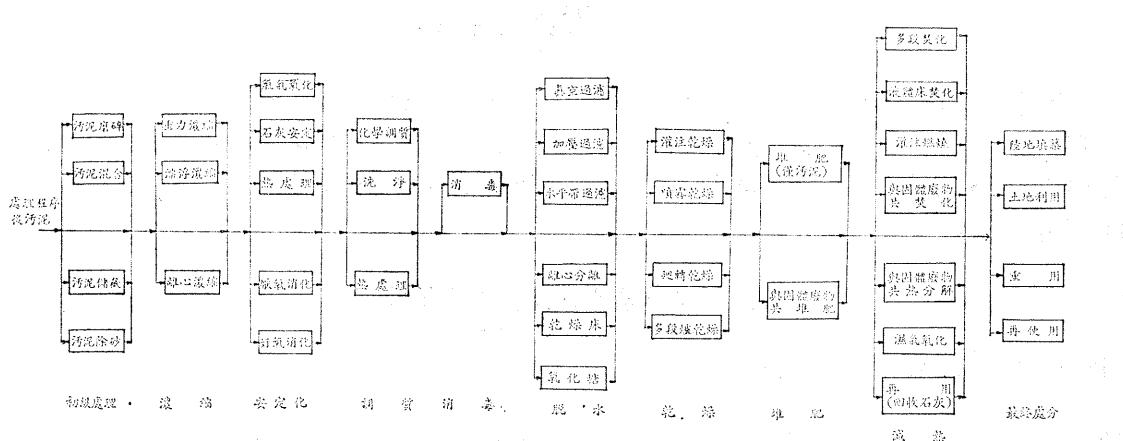
表四 廢水處理產生污泥之特性

固 體 物 或 污 泥	說 明
篩	包括篩桿所能去除之無機與有機物質，有機物含量依系統性質與四季而異。
砂	砂通常為在相當大流速下所沈澱之較重無機固體物，砂依操作速度亦可含有相當量之有機物，如油與脂等。
浮渣	浮渣指浮游於初次或二次沈澱池表面之物質，包括脂、植物、礦物油、動物油、蠟、肥皂、廢木料、樹皮、毛髮、紙張與棉花、煙蒂、塑膠、砂粒等等，浮渣比重小於 1.0 通常為 0.95。
初級污泥	初次沈澱池污泥呈灰色泥濘狀，通常具有極端不快味。此種污泥在適當狀況下可立刻消化處理。

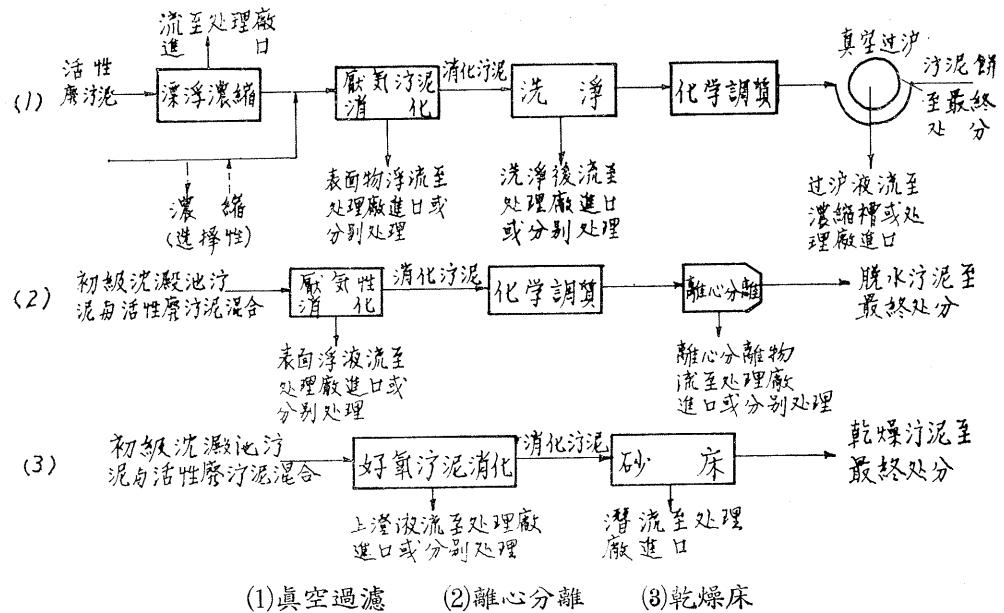
化學沈澱汙泥	化學沈澱池汙泥常呈黑色，其表面如含多量鐵則呈赤色，其味常使人感覺不愉快，但不比初級沈澱汙泥那麼惡味，雖然有些惹人厭，然鋁或鐵之氫氧化物可使之成為膠狀。假如留在槽中會像初級沈澱池汙泥起緩慢之分解，可減少相當量之氣體，長時間放置後將增加密度。
活性汙泥	活性汙泥通常為棕色之塊體狀，腐敗則呈黑色，顏色如較淡時，為曝氣不足固體化或沈澱較慢，在良好狀況時沒有臭味，汙泥腐敗很快而有不快味，可單獨消化或與新鮮廢水固體物混合。
滴濾汙泥	滴濾腐植物呈棕色，塊體狀，新鮮時無氣味，比其他非消化汙泥分解較慢，當含有許多小蟲時，產生不快味，可立即被消化。
消化汙泥（好氧性）	好氧性消化汙泥常呈棕色至黑棕色，塊體狀，無不快味，但有霉臭，良好好氧消化汙泥易脫水，最終乾燥固體物也無氣味。
消化汙泥（厭氧性）	厭氧性消化汙泥呈暗棕至黑色，常含大量氣體，完全消化後沒有不快氣味，但像熱焦油燒橡皮與封蠟等有令人透不過氣之味道，乾燥後氣體消失，表面乾裂有像庭園泥土之氣味。
化糞池汙泥	化糞池汙泥為黑色，除非經長時間消化，否則有 $H_2S$ 之不快氣味，此種汙泥可散開成薄層在多孔床乾燥。排泄時也有相當不快味。

## 五、汙泥之處理流程圖

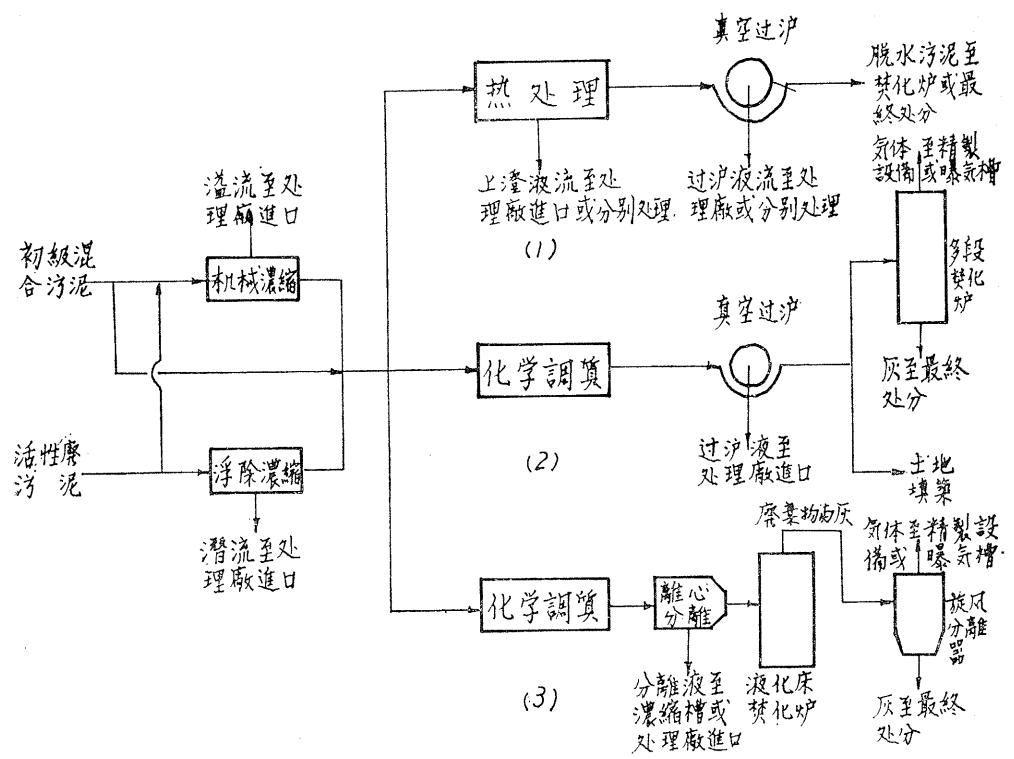
污泥處理之一般流程圖如圖一、圖二、圖三所示。其處理可任選幾種而組合成許多組。實際上，最常用之程序可分為二大類端視是否包括生物處理而異。



圖一 污泥處理與處分一般流程圖



圖二 標準生物汙泥消化與三種汙泥脫水程序



圖三 標準非生物汙泥處理流程圖

## 六、污泥產生量

初級沈澱池與最終沈澱池產生之污泥，為了要與消化污泥區別起見，稱為生污泥。一般求（生）污泥量是基於污泥之沈降性。各種處理程序所產生污泥量示如表三，其相對污泥濃度如表五所示。

表五 各種處理操作與程序所產生預期污泥濃度

操作與程序應用	污泥固體物濃度，乾燥固體物%		
	範圍	標準	準
初級沈澱池			
初級污泥	4.00~12.0	5.00	
初級污泥至旋風 <sup>a</sup>	0.50~3.00	1.50	
初級與活性廢污泥	3.00~10.0	4.00	
初級與滴濾腐植土	4.00~10.0	5.00	
初級污泥加鐵以去除磷	5.00~14.0	7.50	
初級污泥加低量石灰以去除磷	2.00~8.00	4.00	
初級污泥加多量石灰以去除磷	4.00~16.0	10.00	
二級沈澱池			
活性廢污泥加初級沈澱	0.50~1.50	0.75	
活性廢污泥無初級沈澱	0.75~2.50	1.25	
純氧活性污泥加初級沈澱	1.25~3.00	2.00	
純氧活性污泥無初級沈澱	1.50~4.00	2.50	
滴濾法腐植土污泥	1.00~3.00	1.50	
浮渣	3.00~10.0	5.00	
重力濃縮			
僅初級污泥	6.00~12.0	8.00	
初級與活性廢污泥	3.00~10.0	4.00	
初級與滴濾腐植土	4.00~10.0	5.00	
漂浮濃縮			
僅活性廢污泥	3.00~6.00	4.00	
厭氣消化			
僅初級污泥	5.00~10.0	7.00	
初級與活性廢污泥	2.50~7.00	3.50	
初級與滴濾腐植土	3.00~8.00	4.00	
好氧消化			
僅活性廢污泥	0.75~2.50	1.25	
活性廢污泥與初級污泥	1.50~4.00	2.50	
僅初級污泥	2.50~7.00	3.50	

a 濃度大之污泥必需加以稀釋

## 七、污泥體積與質量關係

○ 污泥之體積主要依含水量而異，一些是基於固體物質之特性。假定固體物質包含固定(礦物)固體物與揮發(有機)固體物，則所有固體物之比重可計算如下式

$$\frac{M_s}{S_s \rho} = \frac{M_f}{S_f \rho} + \frac{M_v}{S_v \rho}$$

式中

$M_s$ =固體物質量

$S_s$ =固體物比重

$\rho$ =水之密度

$M_f$ =固定(礦物)固體物之質量

$S_f$ =固定固體物之比重

$M_v$ =揮發性固體物之質量

$S_v$ =揮發性固體物之比重。

## 八、污泥之燃燒價

○ 污泥如要加以衛生的處理，經常使用焚燃(燃燒)方法。如計畫此方式處理，燃燒時所使用之補助燃料便成為主要問題。污泥本身具有燃燒價意即發熱量之多寡在此便有很大的意義。

據調查結果，最初沈澱池乾物發熱量為 2,047~3733 Kcal/kg，平均 3,130 Kcal/kg，含水物之發熱量為 44~209 Kcal/kg，平均 119 Kcal/kg，從有效熱量看起來，此加熱蒸發之熱效率 100%，對於污泥 1 Kg 平均應供給 456 Kcal 之熱量。又如，剩餘污泥乾物發熱量為 2,150~3,814 Kcal/kg，平均 2,970 Kcal/kg，含水物發熱量為 10~118 Kcal/kg，平均 36 Kcal/kg，有效熱量為 -557 Kcal/kg，於是蒸發燃燒必須供給多量熱量。

## 九、污染之處理與處分

由於污泥之產量大，加以其化學成分之複雜，隨便丟棄或放流將引起二次公害問題(已如前述)，所以必須經處理與最終處分，甚至加以利用以回收資源。其處理程序已如圖一，圖二，與圖三所示，處理時可斟酌情形選擇處理方法。至於污泥處理之設施與費用相當龐大，在此僅就污泥之利用與資源化問題略加以研討。

○ 污泥之處理方法與最終處分互為因果，其最終處分可大別為下：

### (一) 地上處分

(1) 土地填築：可對於海灘，內水面，廢坑等之填築以產生新生地。

(2) 土地(壤)改良：因污泥含有肥料成分，可將貧瘠土地改良成為田園，綠地等。

(3) 堆肥化：可與普通土壤或與垃圾混合堆肥化處分之。

## (二) 水中處分 (海中處分)

- (1) 海洋擴散：(海洋之營養補給)
- (2) 集中投入：由於污泥加工物形成人工魚礁

## (三) 固體處分

加入波特蘭水泥，或柏油乳劑，可使污泥固體化而後投棄。

## (四) 焚化處分

本法所指為污泥與垃圾混合投入垃圾焚化爐焚化之。

# 十、污泥之利用

關於材料方便之利用：

- (1) 可將脫水污泥在 1,250~1,280°C 之範圍加熱後變成斷熱材。
- (2) 污泥焚化灰與水泥配合可成舖路材料。
- (3) 在砂漠地帶可當土壤改良劑及肥料。
- (4) 濃縮促進劑
- (5) 混凝助劑 } 炙燒灰之有效利用。

關於資源回收：

- (1) 污泥脫水餅炙燒後石灰之回收。
- (2) 含有混合重金屬電鍍排水之處理污泥可分離回收有用金屬如 Zn 及 Cu。
- (3) 乾餾程序之最終生成物乾餾石灰可如活性炭具有吸着性，造成對於三次處理之適用。
- (4) 各種工業廢水處理污泥之資源回收（有待開發）。

# 十一、結論

近二、三年來污水污泥之熱源回收問題已成為研究對象之一。污泥之熱分解 (Pyrolysis) 也引起人們之注意。到目前為止有關污泥之研究對象為；飼料化，可在家庭中適用之燃料化，金屬回收，農地利用，放射性照射滅菌等。總之，對於污泥之一般處理處分之目的有三；

1. 自然環元
2. 省能源化
3. 再利用

由上觀之，污泥在廢水處理中已成為重要問題矣。

## 參 考 文 獻

1. 大石美 喜雄外 2 名 炙燒灰對於三次處理應用之基礎研究 日本下水道研究發表講演集 745~747頁 1981
2. 岩井重久外 3 名編 廢水、廢棄物處理，廢水篇 256~263頁 1977
3. 海淵養之助外 1 名著 下水道終末處理設施 157~160頁 1971
4. 笠倉 忠夫外 2 名 下水污泥之燃料價值 700~702頁 日本下水道研究發表講演集 1982

5. Metcalf & Eddy, Inc. Waste-Water Engineering: Treatment Disposal Reuse Second Edition p. 573~p. 586 1980
6. P.A. Vesilind Sludge treatment, utilization, and disposal Journal of WPCF, June, 1981 p. 726~p. 728
7. G.C. McDonald et al Sludge management and energy independence Journal of WPCF Feb. 1981 p. 190~p. 200
8. G. Michael Alsop et al Improved thermal Sludge conditioning by treatment with acids and bases Journal of WPCF Feb. 1982 p. 146~p. 152.