

廢水處理廠操作管理(十一)

——污泥消化——

歐陽嶠暉*

1. 污泥之安定化

下水污泥為含多量有機物之有機性污泥，因之若予任意放置，不僅因腐敗而發臭，同時也因含病原菌而不衛生，又因親水性致含水率高，不易脫水。

因此為達到有機物的分解、污泥減量化及衛生上無害，提高脫水效果，也即污泥之安定化，最普遍使用的有生物處理法及熱處理法。

1.1. 污泥生物處理

污泥生物處理有厭氧消化法及好氧消化法。厭氧消化法為在隔絕空氣的厭氧化條件下，藉厭氧菌的作用以分解、減少有機物者。

好氧性消化法為應用活性污泥法之長時間曝氣法之原理，在內呼吸期下藉好氧菌的氧化作用，使污泥中之有機物達到無機化。

1.2. 热處理

熱處理為在 $150\sim200^{\circ}\text{C}$ 之高溫高壓下，以破壞污泥中之蛋白構造使內部的水得以分離，以及有機物的加水分解達到安定化，同時改善脫水性之方法，當污泥予以加熱可促進粒子的熱運動，提升粒子的衝突及會合的頻率，以產生凝聚現象。其次蛋白質等由於熱及時間的變化使其發生崩壞，而使多量的內部水分分離，並由於熱使產生加水分解而達到可溶化，也即液化現象。

此等凝聚、分離、液化之諸現象與反應溫度、壓力、及反應時間有相當密切的關係，反應溫度愈高，污泥愈趨安定，脫水性愈高。但提高溫度會導致分離上澄液之水質變差，而必須增大分離液處理設施，或提高水處理之負荷，因之一般實用上的反應溫度為 $150\sim160^{\circ}\text{C}$ 。

熱處理可提升污泥之脫水性，且脫水時不必添加藥品，同時可提高脫水機之處理能力。但由於有機物之可溶化，致分離液之 BOD、氮等之濃度及色度皆高，而會影響水處理效率、同時也會發生臭氣。

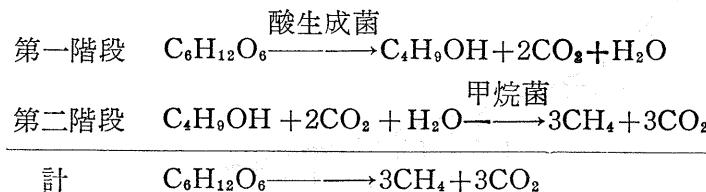
* 國立中央大學土木工程研究所所長
本小組委員

2. 污泥厭氧性消化

2.1. 厭氧性消化之原理

厭氧性消化為利用自然界之腐敗現象，使污泥中之有機物分解，達到安定化者。其分解過程，為在厭氧條件下且可行能量代謝，藉在同一環境共生之酸生成菌及甲烷生成菌的作用，前者將碳水化合物、脂肪、蛋白質等分解為有機酸及酒精，後者則利用第一階段生成物有機酸分解生成甲烷。

若以酒精之厭氧性分解為例，可以下表之



又蛋白質在第一階段分解成為胺基酸、二氧化碳、氨氮、硫化氫，第二階段則將胺基酸分解為甲烷、二氧化碳、氨氮。

酸生成菌所作用之生成物，在使污泥迅速呈為酸性，因之第一階段的分解稱為酸性醣酵（或酸性分解）。污泥中存在有很多的這種細菌，若任加放置，隨即開始酸性醣酵，而呈黑灰色、粘着狀，並散發出惡臭。

再甲烷醣酵，由於甲烷生成菌必須於弱鹼性之環境始能生存，故又稱為鹼性醣酵。因之為使甲烷醣酵的活潑進行，必須自酸性狀態減退而移行至弱鹼性環境條之件。污泥的消化過程，為於酸性醣酵之後，由酸性狀態的減退而移行入弱鹼性的環境，因此酸性醣酵與鹼性醣酵保持平衡，進行高效率的污泥消化。

因此污泥消化之過程大略可分為三類：

(1) 酸性醣酵

在消化初期，由於生成有機酸，pH 降低至 5~6.8，污泥帶粘着性，並散發惡臭。

(2) 酸性減退期

有機酸的分解之同時由於生成氨氮，故 pH 上升至約 6.6~6.8，並有發泡現象，氣體產生量不大，但其主要成分為二氧化碳、少量的甲烷及氫。

(3) 鹼性醣酵

pH 上升至 7.0~7.4 左右，甲烷氣體的產生甚為活躍，在本階段不再散出惡臭，污泥呈黑色，成為沈澱性良好的安定粗大粒子。

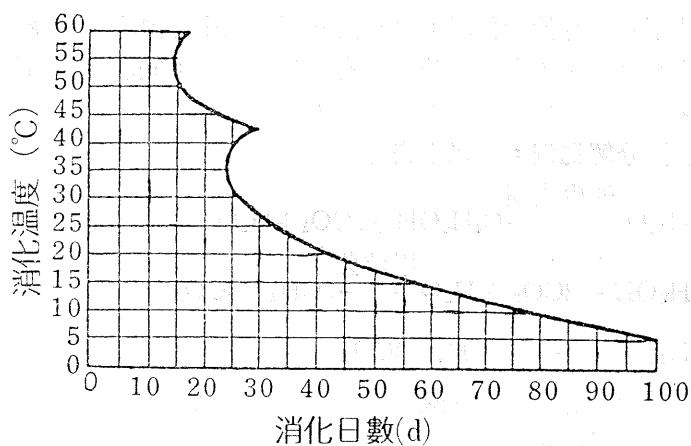
在經上述的消化過程，污泥中的有機物分解為以甲烷成分為主的消化氣體及無機物。污泥中之有機物達到完全消化所需時間雖很長，但經數星期消化後，污泥就不再散發惡氣，且污泥中之膠狀結合水及內部水容易被去除，而生成安定化的污泥，達此一狀態之污泥稱為消化污泥，而其上澄液又稱為脫離液。

2.2. 厭氧消化之影響因子

厭氧性消化為生物反應之故，因之其消化過程受下列諸因子所影響：

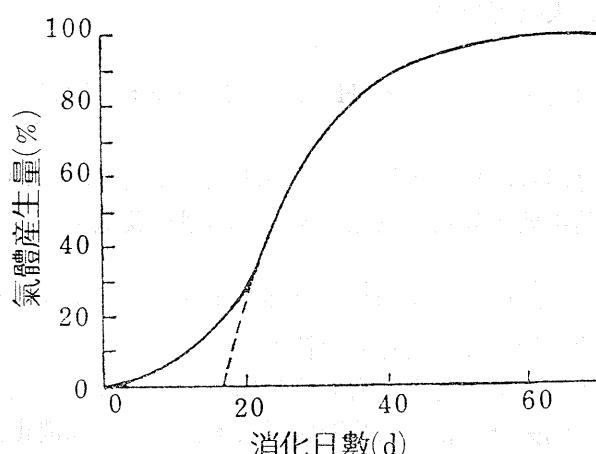
(1) 消化溫度及消化日數

消化溫度及消化日數與消化效率有着密切的關係，達到最終氣體產生量之90%所需消化溫度與消化日數之關係示如圖一。由該圖可看出，消化所需時間為消化溫度的函數，消化溫度低時，消化日數需增長。



圖一 消化日數與消化溫度

又消化日數及氣體產生量之關係可以圖二表之。在一般分批式消化，由於沒有成熟的種汚泥，故呈S字形。但若經充分種植且進行正常消化的消化槽，連續供給汚泥時，並無遲滯期而立即開始消化作用，因此並無圖上變曲點前後而以虛線直接進行。在正常的消化槽，汚泥中之有機物可在第1日內被分解30%，其後數星期僅50%可被分解去除之。



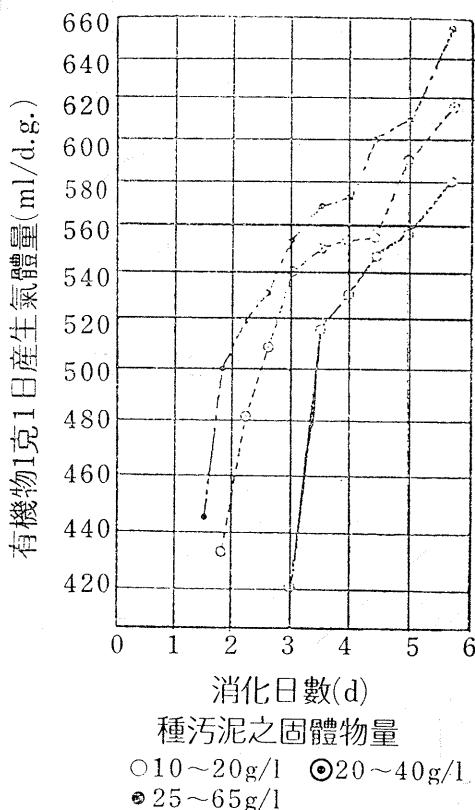
圖二 消化日數及氣體產生量

因此在汚泥消化上，消化溫度及消化日數之控制甚為重要，消化日數之不足或消化溫度的急激變化，對於甲烷生成菌的生存會造成影響、破壞酸性醣酵及甲烷醣酵的平衡。

導致消化機能的降低並減少氣體產生量。

(2) 種汚泥植種及攪拌

圖二及圖三所示，以成熟的種汚泥植種，可增加消化槽內之活性生物量，並促進消化，提高消化氣體的產生。因之通常的消化槽，可將第2段之成熟汚泥植種於第1段，也可將其他處理廠的成熟汚泥植種於初期剛操作之消化槽等方法。植種汚泥量，依各種條件、操作法、混合法而定，約以生汚泥量的1~3倍較為經濟。



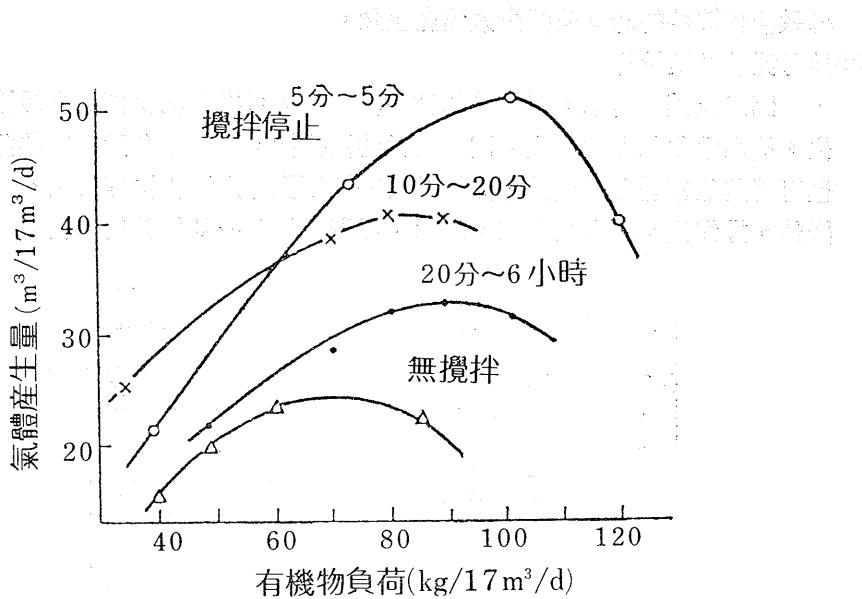
圖三 種汚泥植種及氣體產生率

消化菌由於對溫度的變化甚為敏感，為使槽內溫度相同且維持定溫，以及使種汚泥與新投入汚泥之營養源行厭氧性反應，因之槽內均勻的混合甚為重要。圖四示攪拌對於消化之影響，攪拌時間長（停止時間短），可促消化氣體的產生。

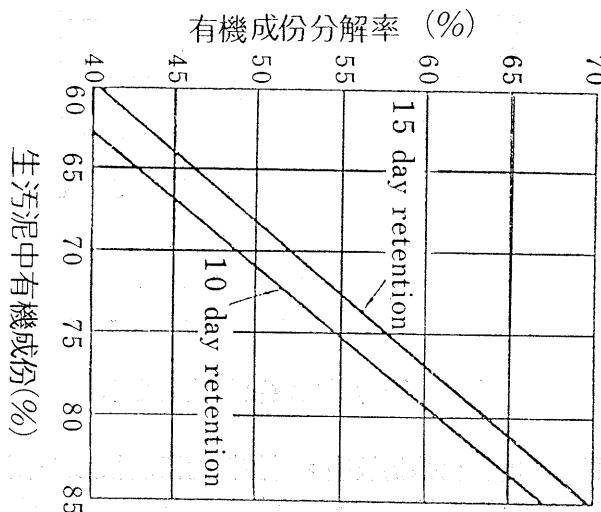
(3) 汚泥成分

投入汚泥有機物中之碳（C）為能源（energy）的供給源，氮為蛋白質形成的要素，皆為厭氧性細菌的重要營養素。因之投入汚泥的成分，即有機物成分比、碳水化合物、脂肪、蛋白質等之含量，以及C量和C/N比等，皆會影響細菌的分解活動。

投入汚泥之有機成分比及消化率之關係示如圖五。有機成分比高者，汚泥消化率也高。又分解有機物1kg之氣體產生量示如表一，由脂肪轉化為氣體的產生量最多，又消化氣體中之甲烷含有率也高。此乃脂肪中所含C量及C/N比較碳水化合物及蛋白質為



圖四攪拌對消化之影響



圖五投入污泥有機成分比及消化率

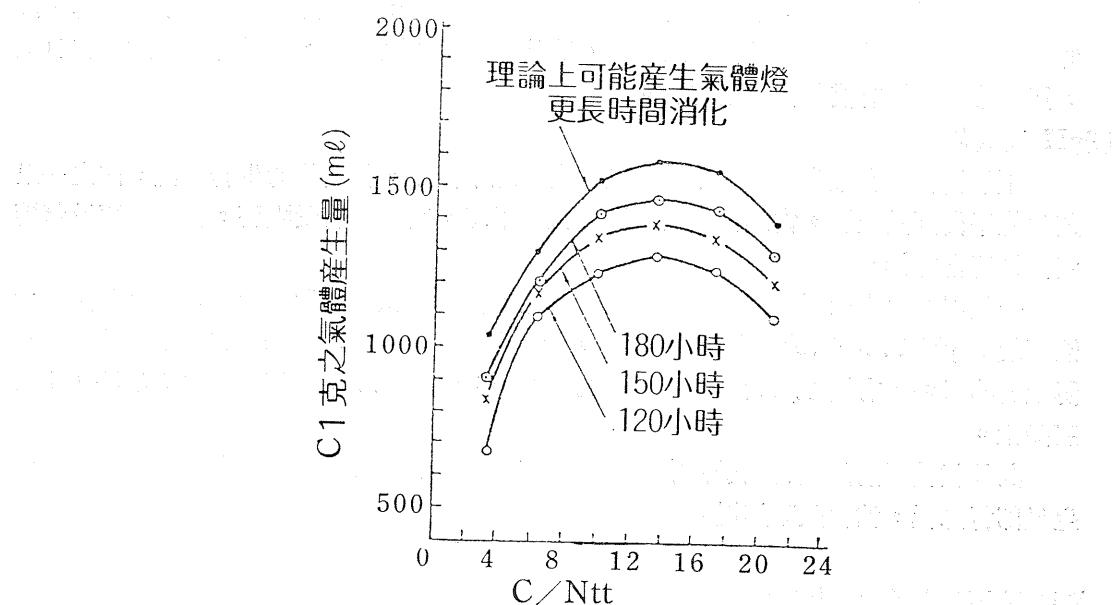
高，且轉化為甲烷之分解率較高之故。因之投入污泥中之脂肪含量愈高，氣體產生量及甲烷之百分率也高。

投入污泥之 C/N 比與氣體產生量之關係示如圖六。氣體產生最大時之 C/N 比為 12~16，剩餘污泥由於已行生物分解放故其 C/N 比較低約 4~6，因此剩餘污泥單獨消化不容易。

(4) 投入負荷量

表一 可分解之有機物 1克所產生氣體量

	氣體產生量 (ml/g)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
依 Roediger 之有機質			
碳水化合物	790	50	50
有机性脂肪	1250	68	32
蛋白質	704	71	29
依 Buswell 之有機質			
粗纖維	810	45~50	55~50
脂肪	1120~1430	62~72	38~28
油脂	1060	68	32
浮渣	880~1000	70~75	30~25
蛋白質	730	73	27



圖六 投入污泥 C/N 比及氣體產生量

消化速率與好氧生物處理相同，可以下式表之

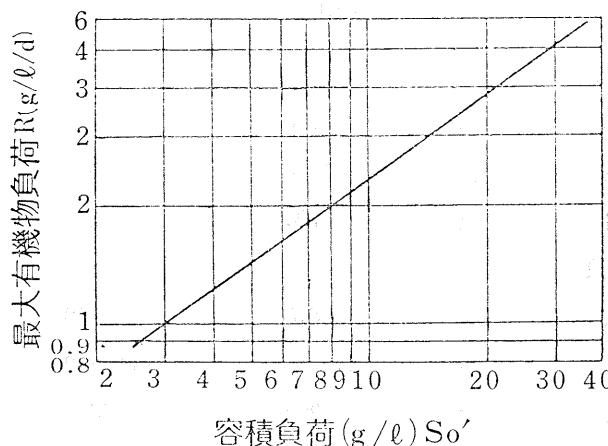
$$-\frac{dS}{dt} = K_1 S \quad (1)$$

式中 S 為可消化之有機物量，由於被消化之有機物以一定之比率產生氣體，因之氣體之產生速率可以下式表之

$$\frac{dG}{dt} = K_2 a S \quad (2)$$

由上式可知若消化槽管理正常，則增加槽內可消化之有機物量，可獲得良好的操作效率。

消化槽之最大有機負荷示如圖七，槽內單位容積與有機質量 S_o' (g/l) 具有密切關係， S_o' 愈大，則消化槽之最大有機負荷也愈大。



圖七 消化槽內有機質量及最大有機負荷

惟若有機負荷過高，將造成有機酸的蓄積，由於 pH 的降低而阻礙甲烷醣酵，降低氣體產生量，並發生多量泡沫的現象。因此以提高污泥濃度，並維持適當的消化日數，以維持較高的有機負荷似較有利。

(5)pH 及其他

厭氧消化為在酸生成菌及甲烷生成菌之生態平衡下，行複雜的生物反應，因之一旦其生態平衡遭受破壞，當細菌處於有害的環境下時，其活動將受阻害，消化效率及氣體產生量皆會降低。

一般甲烷生成菌對於環境的變化相當敏感，當 pH 值處於甲烷生成菌生存最適弱鹼性（最適 pH 7.0~7.5）以外之環境時，就呈現阻害，尤其 pH 在 5.0 以下酸性時，將呈現顯著的阻害。有機酸的最適濃度範圍為 300~2,000mg/l，超過上述濃度氣體產生量將降低。

其他細菌活動的阻害因子尚有存在於污泥中的重金屬及氟化物，其濃度愈高氣體產生量即行降低，消化效率趨慢。

3. 厭氧性消化槽之構造

消化槽之構造為由設施及設備所組成，由於消化槽產生消化氣體，因之必須嚴禁煙火，另電機及機械設備皆需採用防爆形者，且於消化氣體容易滯積之處，應設置檢測器，充分設置安全措施。

3.1. 槽

消化有一段消化及多段消化，一般採用兩段消化，於第一消化槽行加溫及攪拌混合，第二段槽使消化污泥與脫離液分離。兩段消化有採二重槽式及兩槽串聯方式。槽之容量可以式

(3) 計算之，兩槽串聯時第一槽及第二槽之比為 $1:1 \sim 2:1$ ，二重槽之內槽為第一段槽，外槽為第二段槽，其比為 $1:2$ 。

$$\text{槽容量} = \frac{\text{投入污泥量} + \text{抽出消化污泥量}}{2} \times \text{消化日數}$$

槽多為鋼筋混凝土構造，內側應塗以環氧樹脂等耐腐蝕措施，並有減少散熱之構造。

3.2. 加溫設備

為促進槽內污泥的消化作用，應予加溫以保持一定溫度。加溫方法有：

① 於槽內設置加溫管，通以溫水的方法（加溫管方式）。

② 於槽外設置熱交換器，使污泥及溫水循環以交換熱的方法（熱交換器方式）。

③ 於槽內噴入蒸氣的方法（注蒸氣方式）

噴入蒸氣的方法，為於鍋爐產生蒸氣，將蒸氣直接噴入槽內的污泥中，採用本法必須連續補充用水，且鍋爐供水必須注意安全蒸氣管需有耐熱設施。但由於設備費省、操作簡單，故近年來漸被普遍採用。

3.3. 攪拌設備

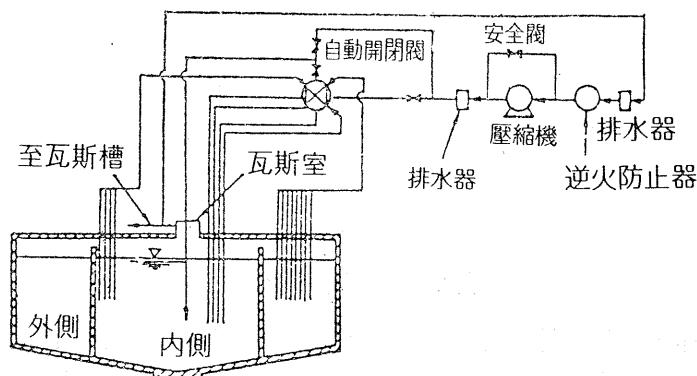
為均勻槽內污泥之溫度，且使種污泥與投入污泥充分接觸以促進消化作用，必須設置攪拌設備。

攪拌設備有：

① 機械攪拌方式。

② 利用所產生消化瓦斯之攪拌方式。

兩種，雖應設置於第一段槽，但為防止發生浮渣為目的，也多於第2段同時設置。瓦斯攪拌為利用一部份消化瓦斯，以壓縮機壓縮灌入槽內之污泥中，藉氣體的上升以達攪拌效果。本法攪拌力大，槽內無驅動設備、維修容易，最近被普遍採用，惟設備之組合較複雜，示如圖八，被壓縮的瓦斯可藉自動操作閥依序自各管供給攪拌之。



圖八 瓦斯攪拌設備系統

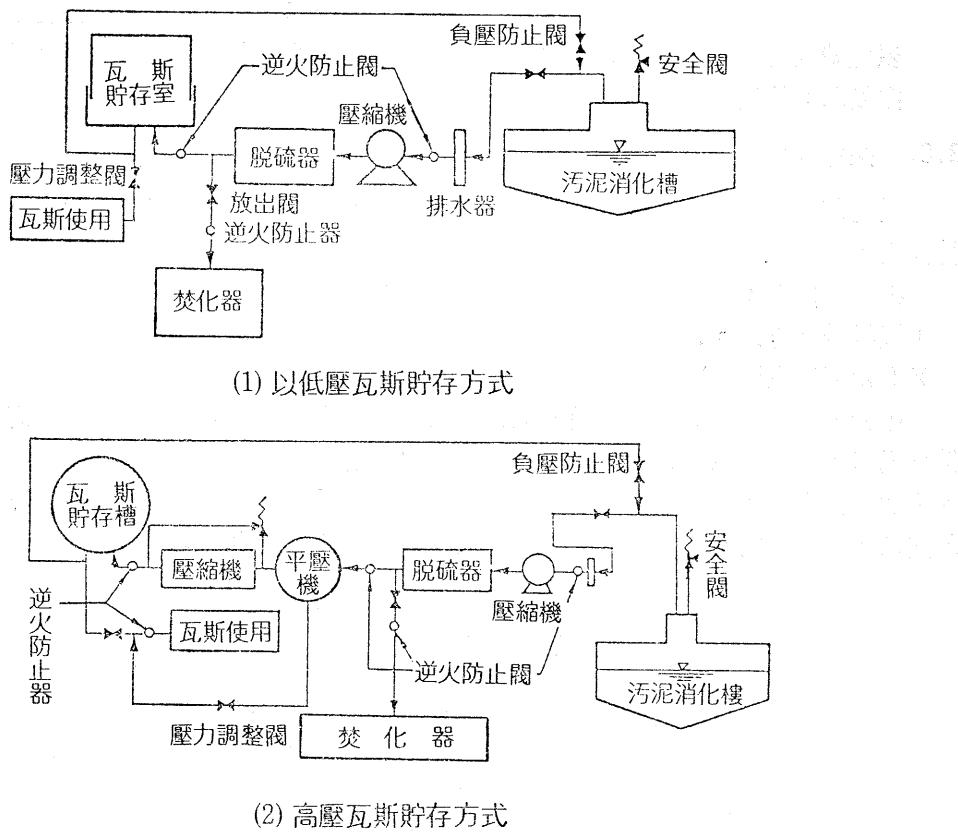
3.4. 投入及抽出污泥設備

污泥投入及抽出設備有下列各項：

- 濃縮汚泥投入消化槽之設備：包括有投入泵、投入閥、投入污泥管。投入泵兼做濃縮槽的抽泥設備，投入閥則以定時器依槽內的水位開閉操作之。
- 消化汚泥抽出設備：大都依定時器，以抽出閥、再投入閥、抽出泵、再投入泵及配管等所組成，抽泥時以利用水位差，而不用泵較多，又兩段消化時，為補給第一段槽之種汚泥或暫時貯積消化汚泥之需要，有自第二段配管至第一段槽者。
- 脫離液排出設備：多利用抽出定時器開閉排出閥，以供自然流出，又消化汚泥之抽出量、脫離液量的掌握，通常設置有流量計以量測之。

3.5. 消化瓦斯設備

消化瓦斯設備包括消化瓦斯的收集、貯存、以及供給利用之設備。貯存方式有低壓瓦斯貯存方式及高壓瓦斯貯存方式（如圖九）。



圖九 消化瓦斯設備

鍋爐雖連續操作，但為維持槽內壓力一定，一般多以鍋爐入口閥與槽內壓力呈連動控制。又為因應鍋爐故障、產生瓦斯量的異常，皆設置有負壓防止閥、安全閥等設備。

脫硫器為去除消化瓦斯中之硫化氫 (H_2S) 為目的，有乾式及濕式兩種，一般多用乾式，濕式多用於硫化氫濃度較高者。

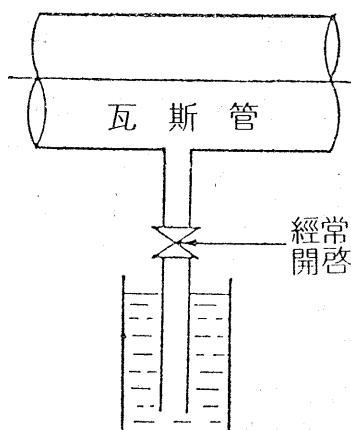
乾式為以氧化鐵與鋸木屑以容積比 1:5~1:10予以混合之脫硫劑，為一般所採用。依脫硫性質、交換周期等成型為輸送帶狀之脫硫劑使用之。濕式為以碳酸鈉溶液 (2~3%)，

與消化瓦斯相向流動接觸以脫硫的方法。

低壓瓦斯貯存方式為將通過脫硫器的瓦斯貯存之，經由壓力調整閥供給使用。瓦斯貯存槽有利用水以遮斷之有水式及以油及其他密封遮斷的無水式，低壓瓦斯貯存槽內的壓力為 250mmAq 。

高壓瓦斯貯存方式為將通過脫硫器的瓦斯，經由平壓塔，供給利用，當平壓塔內壓力上升時（產生瓦斯大於消耗瓦斯量），瓦斯壓縮機開始操作，送入瓦斯貯存槽貯存。平壓塔內壓力降低時，則由瓦斯貯存槽經由壓力調整閥供給使用。高壓瓦斯貯存方式多採用球形瓦斯貯存槽，內壓多為 5kg/cm^2 。

至於剩餘瓦斯一般多採用焚化裝置燒棄之。瓦斯配管用鍍鋅鋼管，為防止發生凝結水應向瓦斯流動方向傾斜，並於適當位置設置排水裝置。排水裝置有自動排水器（存水彎）及水封式（如圖十）：



圖十 水封式排水裝置

為掌握瓦斯產生及消耗量，通常多設有流量量測設備量測之。

3

. 6. 其他

為去除投入污泥中之砂土，污泥投入前有設置除砂（cyclone）及除渣設備者。

4. 消化槽之操作

消化槽為使污泥中之有機物在厭氧性微生物之作用下進行液化、氣化，達到減量化及安定化之設施。

因之消化槽的操作，在於維持適合厭氧性微生物作用之環境為基本，並供給原設計所訂之污泥量，消化槽操作之良否，依消化率及瓦斯產生率可顯現出來。

消化率為污泥中有機物的氣化、液化所減少的比率，可以以下式表之：

$$\text{消化率 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{投入污泥無機成分 (\%)} \times \text{消化污泥有機成分 (\%)}}{\text{投入污泥有機成分 (\%)} \times \text{消化污泥無機成分 (\%)}} \right) \times 100$$

一般消化率為 $50\sim60\%$ 左右：

瓦斯產生率為單位投入污泥量或有機物減少量之瓦斯產生量，可以下列兩式表之：

(1)單位投入污泥量之瓦斯產生率(倍)

$$\text{瓦斯產生率} = \frac{\text{瓦斯產生量 (m}^3/\text{d})}{\text{投入污泥量 (m}^3/\text{d})}$$

依瓦斯產生率狀況，約可概略掌握消化槽之消化狀況，其值一般約7~10倍。

(2)單位有機物減少率之瓦斯產生率(l/kg)

$$\text{瓦斯產生率} = \frac{\text{瓦斯產生量 (m}^3/\text{d}) \times 10^3}{\text{投入污泥量 (m}^3/\text{d}) \times \text{總固體物 (\%)} \times \text{有機成分 (\%)} \times \text{消化率 (\%)} \times 10^{-3}}$$

瓦斯產生率約減少有機成分 1kg 為 500~800l 左右。

為促進消化槽之操作效率，必須掌握表二所示之操作數據。

表二、消化槽操作必要之數據

污 泥	數 據	類
投 入 污 泥	量、總固體物、有機成分、pH、溫度	
槽 內 污 泥	總固體物、有機成分、有機酸、pH、溫度	
消 化 污 泥	量、總固體物、pH、有機酸、溫度	
脫 離 液	量、總固體物、BOD	
消 化 瓦 斯	量、成分	

瓦斯產生率，因下列諸因數而降低，包括：

- (1)投入污泥之濃度偏低，消化污泥之抽出量過多，致槽內污泥減少。
- (2)溫度降低。
- (3)負荷過大。
- (4)有害物質流入等。

槽內污泥之減少及溫度的降低或超負荷，可藉污泥投入、抽泥設備、加溫設備對應之。至於槽內浮渣的蓄積及沉積砂土，會導致有效容量的減少造成超負荷，則必須將槽放空，予以清除之。

當有有害物質流入時，應即停止投入、抽出污泥，而繼續加溫恢復之，倘無法恢復正常時，就必須將槽放空，從新開始操作。當發生消化不良狀態時，除會大幅度降低瓦斯產生率之外，槽內會蓄積泡沫，此點應加注意。

4.1-1 加溫設備、攪拌設備之操作

加溫設備及攪拌設備，目的在於促進消化效率，為保持消化槽良好的處理環境，通常應連續操作。

污泥應依消化日數相符之消化溫度加溫消化之，當污水處理系統產生超量的污泥時，會導致消化槽超負荷，若設備容量足夠，可藉提高消化溫度以對應之。

例如圖一當消化溫度為30°C時之消化日數為27日，消化溫度 50°C時為15日，可增加消

化溫度 30°C 時投入污泥量約 1.8 倍，但實際上必須考慮消化槽每 m³ 之有機物負荷、污泥性質、厭氧性菌之活動範圍，予以檢討之。

消化日數為污泥消化之日數，可以以下式表之：

$$\text{消化日數(日)} = \frac{\text{槽容量}(\text{m}^3)}{\frac{\text{投入污泥量}(\text{m}^3/\text{d}) + \text{抽出污泥量}(\text{m}^3/\text{d})}{2}}$$

簡化之以下式表之：

$$\text{消化日數(日)} = \frac{\text{槽容量}(\text{m}^3)}{\text{投入污泥量}(\text{m}^3/\text{d})}$$

4.1-2 污泥之投入、抽出

污泥的投入雖以間歇性為之，但投入次數宜多，每日分成數次投入，以均勻污泥量及濃度。

消化污泥之抽出量及脫離液之抽出量，原則上以下式計算之：

$$\begin{aligned}\text{消化污泥量}(\text{m}^3/\text{d}) &= \text{投入污泥量}(\text{m}^3/\text{d}) \times \frac{100 - \text{投入污泥之含水率}(\%)}{100 - \text{消化污泥之含水率}(\%)} \\ &\quad \times \left\{ \left(1 - \frac{\text{投入污泥之有機成分}(\%)}{100} \right) \right. \\ &\quad \left. + \frac{\text{投入污泥有機成分}(\%)}{100} \times \left(1 - \frac{\text{消化率}(\%)}{100} \right) \right\}\end{aligned}$$

$$\text{脫離液量}(\text{m}^3/\text{d}) = \text{投入污泥量}(\text{m}^3/\text{d}) - \text{消化污泥量}(\text{m}^3/\text{d})。$$

消化污泥之抽出雖間歇性為之，但每日抽出數宜多次，而以能抽出高濃度之消化污泥為宜。

脫離液原則上自液面之上部，間歇排出之。

消化槽污泥的投入、消化污泥的抽出及脫離液的抽出為消化槽操作上最重的工作。例如若比起投入污泥，消化污泥抽取量過大，則會造成脫離液的滯留，致消化污泥濃度降低，瓦斯產生量也降低。又若脫離液抽出量過多，而消化污泥之抽取量偏低，會造成消化污泥的蓄積，雖短時間內會增加瓦斯產生量，但繼之因脫離液的濃度高，而會減少瓦斯的產生。

因此若消化污泥濃度高，而要促進瓦斯產生量，則應考慮消化污泥抽出量、脫離液抽出量及投入污泥之含水率。為維持槽內一定的污泥滯積量，必須設置消化污泥抽出閥、脫離液排出閥以定時器設定，定時操作之。

脫離液 SS 濃度應在 10,000mg/l 以下，若濃度偏高時，應與消化污泥輸送至洗滌池淘洗之。

4.1-3 消化瓦斯設備的操作

消化瓦斯之組成比達 5 ~ 15% 時，有引火或爆炸之危險，因之應防止配管的外洩。尤其是水封式排水或水封閥，當槽內之消化瓦斯壓力急上升，會造成水的噴出，而失去水封的目的，此點必加注意。又因故障而必須取出某段配管或機械時，應先以 N₂ 或 CO₂ 置換消化瓦斯，而裝置時也應先以上述氣體置換出空氣，以防空氣與消化瓦斯直接接觸成混合狀態。

消化瓦斯設備通常為全自動操作，操作中必須監視各種壓力計、流量計。一般槽內壓為

100~200mm Aq，送風機吸入側配管以 5mm Aq 左右操作之。

消化瓦斯中含有 100~200ppm 之硫化氫，由於具腐蝕性對設備會造成損傷，因之脫硫器出口的硫化氫濃度應定期量測之，脫硫效果降低時應即更換脫硫劑。已失去脫硫效果之脫硫劑，放置於空氣中會因發熱而發火，應予散水防止之。

4.2 消化槽之水質管理

藉利用厭氧性細菌的生物反應之厭氧消化，雖具有下列優點：

- (1) 污泥已安定化，處置較易。
- (2) 有機物已氣化，污泥量減少。
- (3) 瓦斯可有效利用。
- (4) 衛生上已無礙，經脫水後可供改良土壤用。

但若生物的活動受到阻礙；消化槽內的生態失去平衡時，由於環境的變化會降低消化效率。

消化槽操作受濃縮槽濃縮效果的影響，倘濃縮效果差，則因投入污泥量增大，致消化日數不足，故消化效率降低。消化機能降低，則污水之脫水性差，相對脫水泥餅含水率高、藥劑消耗量也增大，同時脫離液濃度也高，對水處理造成影響，而再循環至污泥處理，因之消化槽應維持適當的水質管理，並時時保持良好的消化機能。

4.2-1 水質管理的內容

污泥消化之影響因子包括：

- (1) 消化溫度
- (2) 消化日數
- (3) 種汚泥之種植（消化槽內之活性生物量）
- (4) 營養量（負荷、污泥成分、C/N 比）
- (5) 攪拌
- (6) pH
- (7) 有害物質濃度

等，上述諸因子會影響消化效率、瓦斯產生量（組成），進而影響及消化污泥及脫離液之性質。

因此為維持消化槽的正常操作，對於上述諸因子及消化效率等之間的關係，應充分了解，而能正常的投入、抽出污泥、加溫、攪拌等，為管理上最為重要的項目。在投入污泥上若投入污泥之有機物濃度高，就會產生異常的泡沫，此種現象尤其在冬天較易發生，應加注意。

再投入污泥量增加之同時，消化槽內之溫度較易變動，因之要經常注意消化溫度的變化，以維持所定之溫度操作之。又應依瓦斯產生量及瓦斯組成，以及消化污泥的性質等調整操作條件。

消化槽水質管理要點示如表三。另如圖十一。

表三 消化槽之水質管理要點

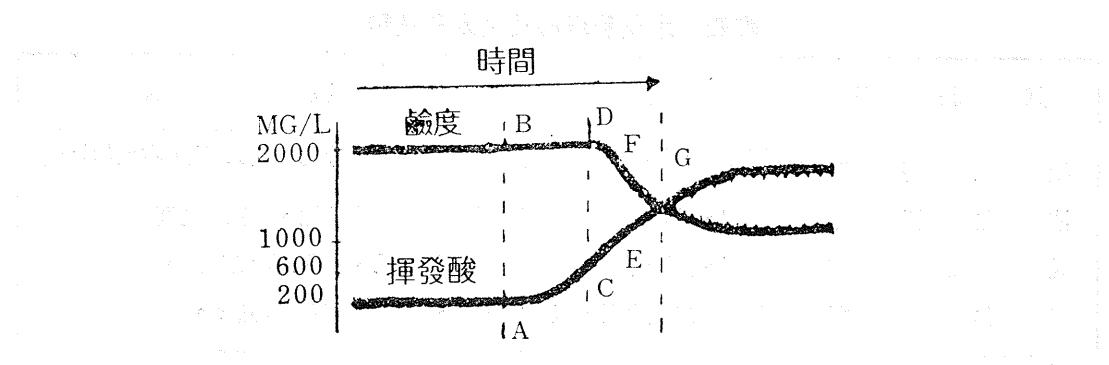
項 目		
1. 操 作 狀 態 的 掌 握	1.投入汚泥之性質 (1)投入汚泥濃度是否適當。 (2)pH 是否偏低。 (3)有否含有害物質。 (4)汚泥成分 (C/N 比) 是否適當。	
	2.投入汚泥量、投 入次數 (1)投入汚泥量、有機物負荷是否適當。 (2)曾否大量投入汚泥。	
	3.消化日數 (1)消化日數是否不足。	
	4.消化溫度 (1)消化日數是否較設定者偏低。	
	5.攪拌 (1)第一段槽內的攪拌是否充分、均勻。	
	6.種汚泥植種 (1)自第二段槽抽出第一段槽之種汚泥與生活汙泥量之比是否適當。	
	7. SRT (汚泥停 留時間) (1)消化槽內之成熟活性生物量是否適當。 (2) SRT (槽內活性生物量與每日投入之有機物量比) 是否適當。	
	8.消化汚泥、脫離 液之抽出量、抽 出次數 (1)投入量及消化汚泥抽出量是否平衡。 (2)曾否一次大量抽出 (或抽出次數偏少)。 (3)脫離液之抽出位置、抽出量是否適當。	
	9.消化槽內水位 (1)水位是否保持在適當位置。	
2. 消 化 效 果 之 判 斷	1.消化汚泥性質的掌握 2.脫離液性質的掌握 3.瓦斯產生量的掌握 4.產生瓦斯之組成的掌握 5.消化效果的判定 6.污泥消化正常或異常的掌握	
	消 化 狀 態 判 定 指 標	
	試樣 正 常 異 常	
	消 化 汚 泥	(1)pH 6.8~7.4 (2)鹼度 2,000~3,000mg/l (3)有機酸300~1,000mg/l (4)固體物量 5~10% (5)有機成分比40~50%

消 化 效 果 之 判 斷	消化瓦斯	(1)瓦斯產生量	(1)瓦斯產生量	
		①0.4~0.6m ³ /kg、投入有機物	①<0.4m ³ /kg、投入有機物	
		②1.02~1.14m ³ /kg、分解有機物	②< 6 倍瓦斯／投入污泥量	
		③7~10倍瓦斯／投入污泥量		
		(2)瓦斯組成	(2)瓦斯組成	
		①甲烷 60~65%	①甲烷 50~55%	
		②二氧化碳 33~35%	②二氧化碳 37~45%	
		③氫 0~2%		
		④氮 0%		
		⑤硫化氫 0~3%		
		⑥硫化氫 100~300ppm		
消化率之計算式				
I 式 消化率(有機物減少率)= $\left(1 - \frac{\text{投入污泥無機分}(\%) \times \text{消化污泥有機分}(\%)}{\text{投入污泥有機分}(\%) \times \text{消化污泥無機分}(\%)}\right) \times 100$				
II 式 消化率= $\frac{\text{分解有機物}(kg)}{\text{投入有機物}(kg)} \times 100 = \frac{\text{消化瓦斯產生量}(kg)}{\text{投入有機物}(kg)} \times 100$				
3. 槽內 污泥 分佈 狀況	1.污泥分佈狀況	自消化槽取樣口取樣，量測各深度之污泥分佈狀況，了解槽內攪拌是否均勻，同時判斷第二槽之沉降濃縮性		
	2.沉砂及浮渣之滯積狀況	併同上述污泥濃度分佈調查，測定各深度污泥中之砂含量比，了解沉砂之滯積狀況及浮渣之產生狀況		
4. 污 泥 固 體 物 平 衡	1.污泥固體物平衡	自消化槽內污泥固體物平衡，推測減少量及消化之異常狀況		
	2.投入污泥固體物量 (t/d)			

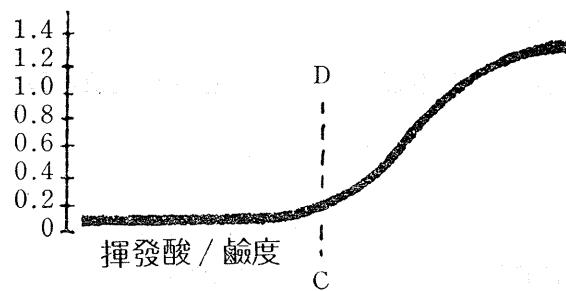
4.2-2 水質試驗

消化槽操作管理，所必要的水質檢驗項目示如表四。此等試驗若消化槽處於定常狀態，則每月試驗2~4次即可。但若消化日數不足，致消化機能易於變動時，則應即增加次數，隨時掌握消化狀況，尋找出異常現象。

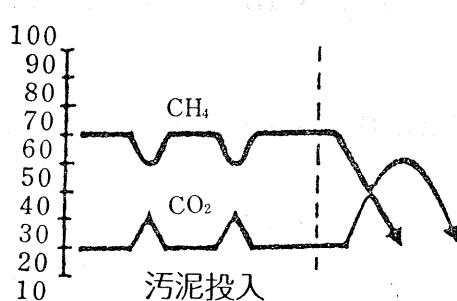
尤其消化機能之異常，可藉瓦斯的組成、消化污泥之pH、有機酸濃度等判定之，此等試驗應增加其次數。



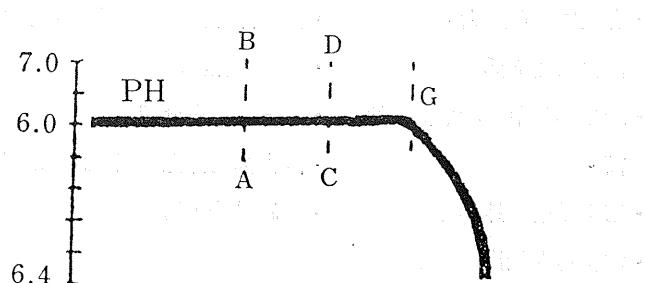
(1) 挥發酸與鹼度關係 挥發酸/鹼度



(2) 挥發酸與鹼度比



(3)、(1)中CO₂與CH₄比率變化



(4) PH變化與(i)改變之關係

圖十一 消化槽中各因子變化相同關係圖

表四、水質管理必要之水質試驗

試 料 名	試 驗 項 目
投 入 污 泥	溫度、pH、鹼度、固體物濃度、有機成分比 (C/N 比, 有機物組成、有害物質濃度)。
消 化 污 泥	溫度、pH、鹼度、固體物濃度、有機成分比、有機酸濃度。
脫 離 液	溫度、pH、蒸發餘留物、揮發固體物、(BOD 氮等)。
消 化 瓦 斯	甲烷、二氧化碳、氧、氫、氮、硫化氫濃度、發熱量。

4.3 消化機能降低時之對策

汚泥消化未能達到消化效率時，應即採取對策。其異常現象之原因和對策如表五。

表五、污泥厭氧消化異常現象、原因及對策

異 常 現 象	原 因	對 策
1.消化瓦斯產生量降低	<ul style="list-style-type: none"> • 消化日數不足。 • 消化溫度偏低。 • 酸蓄積 • 有害物質流入或超負荷。 • 抽泥量過多。 	<ul style="list-style-type: none"> • 提高投入污泥濃度，減少投入量。 • 提高消化溫度。 • 調整污泥投入量、抽出量，避免抽出量過多。 • 有害物質之流入應自工廠加以管制。
2.脫離液之水質變差 (BOD. SS 濃度高)	<ul style="list-style-type: none"> • 與消化瓦斯產生量異常降低相同原因。 • 過度攪拌。 • 消化污泥混入。 	<ul style="list-style-type: none"> • 若為消化瓦斯產生量降低之原因，則依前 1。 • 調整攪拌方式。 • 避免消化污泥混入，調整消化污泥抽出位置及抽出量。
3.異常發泡	<ul style="list-style-type: none"> • 有機物負荷過大。 • 消化溫度降低。 • 酸礦酶及甲烷礦酶失去平衡。 • 第 1 段槽攪拌不足。 • 消化污泥抽出量過多。 • 浮渣、砂土滯積。 	<ul style="list-style-type: none"> • 減少污泥投入量（尤其在冬天污泥有機成分高）。 • 提高消化溫度。 • 第一段槽充分攪拌。 • 減少抽出污泥、或短時間停止排泥。 • 破碎浮渣，清除積砂土。

汚泥消化慢性消化機能降低之具體現象及原因，為消化污泥中之有機成分比率上升，固

體物濃度降低，第二段消化槽之固液分離不良，以及脫離液濃度高等。其原因主要為污泥濃縮效果不佳，投入污泥濃度偏低、投入污泥量多、消化日數短縮等，導致消化槽內失去生態平衡，以及 SRT 偏短。為改善上述消化機能，可依下列對策行之：

- (1) 加強濃縮槽之水質管理，提高濃縮污泥濃度，減少投入污泥量。
- (2) 在濃縮槽或貯存槽有餘存量時，可暫用以調節污泥量，減少投入量，以確保消化日數。
- (3) 消化槽內之活性生物量，受消化日數等之影響，可自第二段槽抽取成熟污泥入第 1 段槽，以提高接種量。（增加槽內之活性生物量）
- (4) 檢討加溫設備，以提升消化溫度，尤其是在冬季。

至於槽內浮渣的產生及砂土的蓄積，會減少有效容量，應加以注意，而第二段槽固液分離機能之降低，常因攪拌及消化污泥抽出量不當所造成，應以消化槽內之污泥分佈狀況為基礎調整之。

5. 好氧性污泥消化

好氧性污泥消化，為污泥經由長時間的空氣或機械曝氣，藉微生物的內呼吸作用，使污泥達到安定化和減量化之污泥穩定方法。通常由污泥消化曝氣槽及消化污泥固液分離為目的的消化污泥濃縮槽所組成。

好氧性消化比起厭氧消化有下列缺點：

- (1) 操作所需能源消耗大
- (2) 消化污泥之脫水性較差
- (3) 有機物減少率低
- (4) 低溫期效率降低
- (5) 無法收回副產物（消化瓦斯）

但相反的操作單純、不發生臭氣、建設費低用地小及其消化分離液水質較良好等為其優點。一般多使用於小規模處理設施。

5.1 好氧性消化槽構造

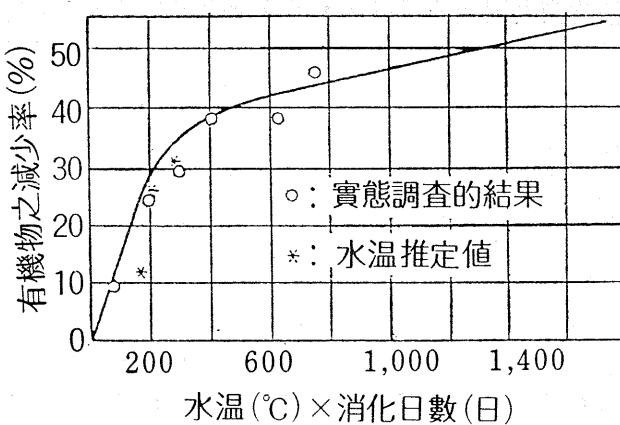
5.1-1 形狀及容量

- (1) 槽的形狀多為長方形或圓形，長方形者寬為水深的 1 ~ 2 倍，必要時應設置整流壁。
- (2) 槽之有效水深以 3.5~5.0m 為標準，槽數以 2 槽以上為宜。
- (3) 槽之容量以每日投入污泥量，乘以消化日數。

5.1-2 消化日數

消化日數依有機物之減少率而定，如圖十二所示，有機物之減少率與水溫 ($^{\circ}\text{C}$) \times 消化日數有關，有機物減少率 38% 時，在 $400^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$ 呈一變曲點，因之有機物減少率超過 40% 以上並不經濟。原則上以 $400^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$ 再依溫度決定消化日數。

槽內溫度，由於好氧性消化反應為發熱反應，因此稍比投入污泥溫度高些，惟平均水溫依地區及季節而異。



圖十二 有機物減少率與水溫($^{\circ}\text{C}$) \times 消化日數之關係

5.1-3 濃縮污泥

濃縮污泥行好氧消化時，必須適當維持槽內混合液的攪拌及所需氧量，因之投入污泥之濃度受到限制。故小規模處理設施，其污泥多不經濃縮而直接投入消化，其濃度混合污泥以1.5%，剩餘污泥以1.0%左右為宜。

5.1-4 空氣量

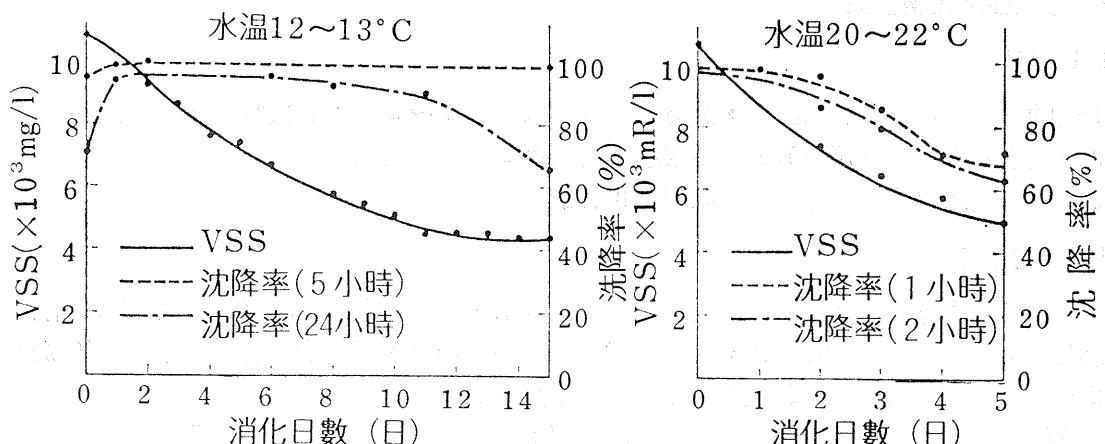
污泥中有機物減少所需氧量，約為每減少有機物 $2.0\text{kg O}_2/\text{kg VS}$ 。換算為空氣量似偏低，但為維持污泥的攪拌及槽內 DO 在 $1\sim 2\text{mg/l}$ ，因之其槽容積送風量以 $25\sim 40\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 為標準。

5

5.2 好氧性消化之水質管理

好氧性消化 VSS 之減少率為 $30\sim 40\%$ ，其減少速度低溫度愈高愈速。消化污泥在夏季水溫高時，約經 $2\sim 3$ 日的消化就可達良好的沉降性，而在冬季水溫較低時，即使經長時間曝氣，其沉降性仍差，同時也影響消化污泥的濃縮。

好氧性消化 VSS 之減少及污泥沉降性的變化例示如圖十三。



圖十三 VSS 及沉降率和消化日數的關係

好氧消化日常操作水質檢驗項目：

(1)水溫

由於係利用微生物的自行氧化作用以消化污泥，因之水溫的高低，對於消化頗有影響，尤其溫度在 10°C 以下時，影響更大。

(2)DO

通常以維持在 $3\sim 5\text{mg/l}$ 較多。

(3)pH

通常由於氮的硝化，故其pH在 $6\sim 7$ 之間，以6.5以下較多。

(4)其他

消化污泥之SS，由於投入污泥之濃度約60%被減少，因之其濃度通常為 $0.4\sim 1.0\%$ 。好氧消化投入污泥之濃度以1.5%以下，其消化速度較快、沉降性亦佳，因之不宜投入濃度太高的污泥。

5.3 異常時之狀態及原因

異常時之狀態及原因如下：

(1)DO

DO顯著偏低，主要為投入污泥之有機物或固體物濃度偏高，或槽內污泥之濃度偏高所致。此時必須增加送風量，若無法提高送風量，而發生臭氣時，應引入處理水以稀釋槽內污泥。

(2)其他

在季節性變化時，產生強粘着性淡褐色的泡沫，甚至流出槽外，此乃生物相之交替時期，或由於水溫上升致行急激的消化作用所致，尤其是槽內污泥濃度較高時較易發生。其控制方法可短暫降低送風量、或添加消泡劑或消石灰。惟添加前應先加試驗，以免過量而殺滅微生物。曾有以消泡劑 $10\sim 30\text{mg/l}$ ，另消石灰 500mg/l 消泡成功的例子。