

防治技術

工業污水處理廠程序控制系統之探討

顧洋* 余政靖*

摘要

本文謹就國內目前工業污水處理場之程序控制現況作概略說明，並介紹工業污水處理場程序控制之概念及其在設計規劃時之基本考慮。適當之程序控制，對於污水處理場之操作穩定及營運效率將有限大的助益。而國內污水處理場之工程設計，過去對程序控制部分較不重視，使污水處理場實際運作時，面對污水質量的變化程序操作不易作立即適切的調整，嚴重影響了處理功能的發揮。因此將程序控制觀念落實於污水場之程序設計實為當務之急。

【關鍵詞】

1. 污水處理(wastewater treatreat)
2. 程序控制(process control)
3. 程序設計(process design)

一、簡介

工業污水的排放所造成的污染，嚴重地破壞了生態環境，因此減少污染排放至大自然中，成為環境保護重要的一環，由於環保的法令限制了這些污染的排放標準，以製程工廠為例，可以由適當的反應器設計及操作機構或操作條件的改進，以達到減少污染排放的目的，這是最基本解決污染的方法，亦即目前

*國立台灣工業技術學院化學工程系教授

受重視之工業減廢觀念，但在此情形下，通常污染可能仍無法達到污染排放標準的要求，所以需要一些管末污染防治的處理單元來降低污染。

本文目的是簡介國內工業污水處理場程序控制的現況及相關問題，並針對工業污水處理流程程序特性及一般的控制方式分別加以說明。

二、程序控制基本概念

一般污水成份複雜且固液相混合，所以污水特性的描述較一般工程慣用的「成份」觀念更巨觀，通常以BOD(生物需氧量)，COD(化學需氧量)，SS(懸浮固體)，pH…等來描述污水的情況。所以放流標準也常以BOD、COD、SS、pH等指標來加以規範污水的排放。以目前工業污水的處理程序而言，大都是以降低進流水的BOD、COD、SS及調整適當之pH值等為處理程序的主要目的。

一般污水處理程序如圖1所示，大致可分為前處理，一級處理和二級處理等部分。前處理是調整污水性質以免影響後續處理單元，如大固體或油脂之移除。一級處理包括了初級沉澱（初沉），目的是調整SS和pH值。二級處理包括了生物氧化和沉澱（終沉），目的在於降低BOD和SS。而放流前通常還可能會有加氯消毒的步驟，以保障排放水質的完全。

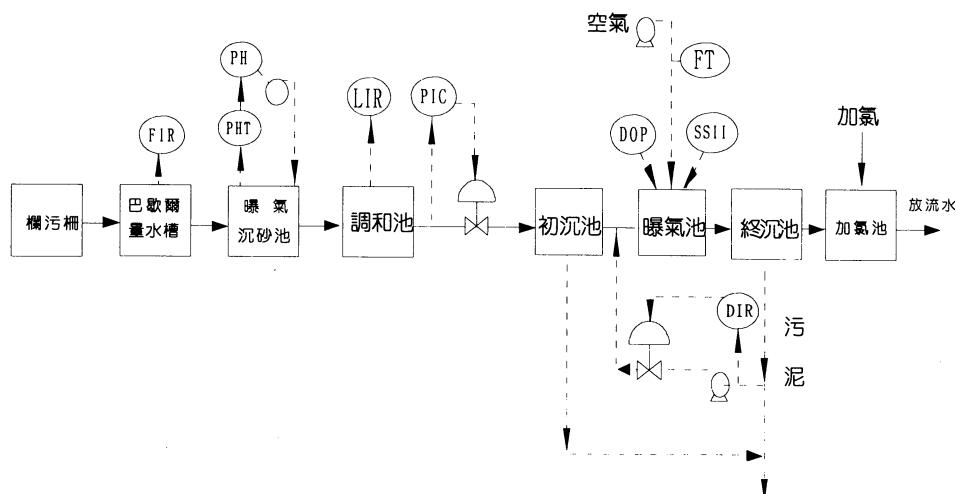


圖1 廢水處理程序流程圖

污水處理廠若僅有良好處理設備，而無適當監控系統，必須同時滿足以下條件才可能有良好之處理效果：

1. 工廠排放之水量、水質，對時間須相當穩定。
2. 運轉之環境條件等經常處於相當穩定範圍之內。
3. 操作設備之性能、效率不隨時間而改變。
4. 足夠之預置容量作為安全係數。
5. 管理上無須特別做運作、協調、調度、安全、維護、研究之考量。

事實上污水處理廠幾乎很少能同時滿足上列所有條件，因此大都必須酌情裝設必要之監控系統；而目前國內部份工業污水處理廠之所以有良好的處理成效，部份係因程序負荷尚低於設計負荷所致，往後當程序負荷逐漸接近或超過設計負荷所致，加上污水處理廠本身進流水之水質，水量變化差異大，以致造成放流水的水質無法控制。

為了達到污水排放標準，以及節約成本，做好程序控制是勢在必行的，而要做好程序控制，首先得了解程序特性及控制方式。

1. 程序特性

因為景氣，淡旺季之生產狀況的變化等均會影響污水處理場進流水的量以及組成。所以工業污水處理程序面對了變化「非常大」的進流水（無論是水質或水量）。從控制的觀點來看，工程師面對非常嚴重且頻繁的外來干擾 (load disturbances)。再者因污水多具有腐蝕性且環境變化大，程序中的量測器也經常損毀。因此污水處理的單元很難像製程工業的生產單元一樣能夠以模式精確的預測並控制可能的行為。如二級處理之活性污泥程序進行生化反應以去除有機成分，所包含之去除機制非常複雜均影響活性污泥床的操作，所以如污泥顏色味道亦為常用指標，以判斷活性污泥程序之操作狀況，比起一般工業程序，污水處理程序因處理對象變化極大，模式化可能性較低。

2. 控制方式

為了說明目前國內污水處理廠的控制方式，必須先介紹前饋控制環路 (feedforward control loop) 及回饋控制環路 (feedback control loop)。

- 前饋控制：操作變數隨某程序負載 (load) 改變而修正的一種控制方式。

例如污水處理程序的加藥量常隨進流水量而決定。

- 回饋控制：將設定值與控制變數實際量測值之差，經控制器修正操作變數的控制方式。

目前國內污水處理廠的控制方式通常十分單純，通常僅有2~3個回饋環路。常見的是中和池的pH控制以及活性污泥床的迴流流量控制。對於中和池及活性污泥床，一般都會有控制環路加以控制其pH值及BOD，但是由於負載的比值(turndown ratio)非常大，所以前饋控制(feedforward control)的應用是必需發展的方向，如圖2所示。

以活性污泥床為例，整個控制系統可修正如圖3所示。在曝氣槽中打入的空氣量，可由溶氧量來控制再加上流量的前饋控制。此舉可節省動力。而重要的食／微比，可間接由進流水／迴流污泥的比值來控制，而此值可由固體滯流時間來算出。如此只需量測SS即可間接的調整迴流比值來維持食／微比。控制器則採用傳統的PI的控制器即可。另外，pH控制方面，最簡單的解決方法如圖2所示的PI控制方式即可。

欲達成污水處理廠控制程序處理功能之有效發揮，可依以下步驟進行：

1. 針對工業排放之污水的水、水量作處理程序之整體設計。
2. 配合各處理程序而要或放流水標準決定控制目的，進而選定具有代表性控制程序之控制變數，負荷變數，測量變數，操作變數。
3. 依據所決定負荷變數及測量變數之特性選擇合適之測量儀器，並配合適當之控制器及控制閥完成程序之控制。

當程序負荷超載，如流量過大，常會造成處理單元無法運作，程序控制也失去功能；而當流量過小時，亦會造成處理上的困難及程序控制無法有效運作，故以下三點實亦對完成控制程序之整體設計有重要影響：

1. 了解程序負荷與程序設計容量之關係。
2. 了解負荷變數（進流水之水量及水質）變化之大小對程序負荷及程序控制之影響。
3. 選擇具有代表性之測量變數，負荷變數及測量儀器。

2.1 程序負荷與設計容量之關係

國內工業污水處理廠之處理功能除了藉由程序控制系統有效發揮外，程序本身的處理容量大小亦關係著污水處理廠的處理功能。因此當負荷變動造成程序負荷的影響遠大於程序處理容量，則會影響程序控制系統的功能，此時可藉

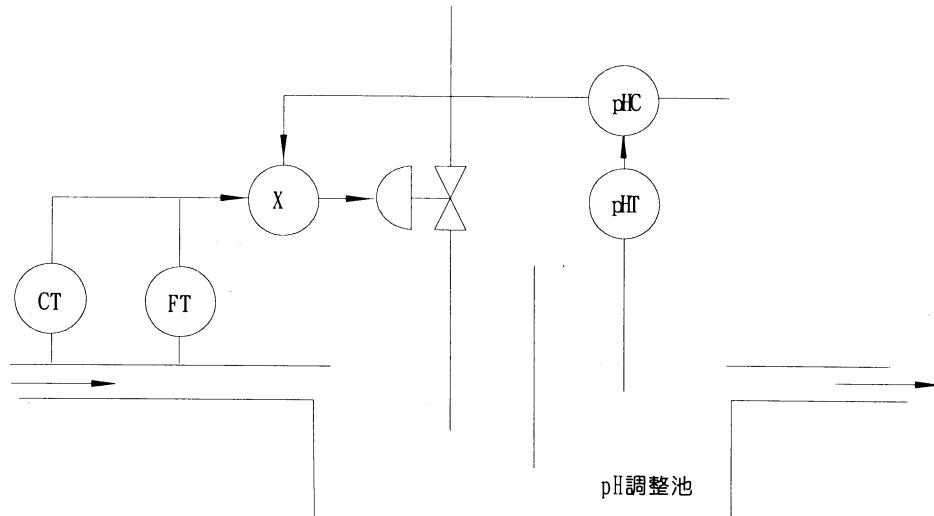


圖 2 pH之前饋控制

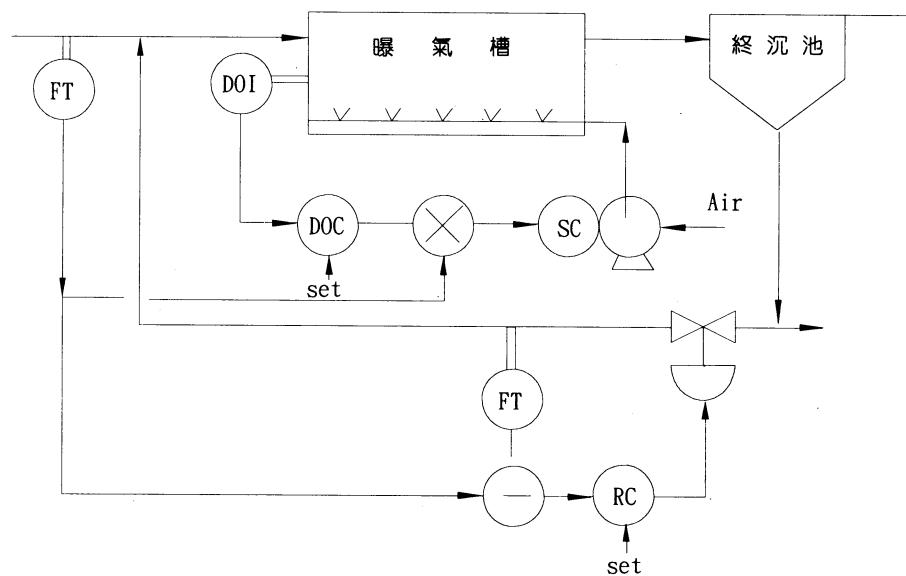


圖 3 活性污泥床之控制

由警報系統採取應變措施；或配合另一控制系統之作用，使程序的負荷於處理容量之內。

以國內部份工業區綜合污水場為例，其污水特性推估統計表如表1所示，少部份污水處理廠的程序負荷（水量、BOD、COD、SS）已大於程序的設計容量，這對於污水處理廠之處理及控制均會造成相當程度之影響。

由經濟部工業局所作之調查，各工業區污水廠 Y_{90} ／設計負荷之比值中知（ Y_{90} 表示發生頻率90%時之數值），無論水質或水量之 Y_{90} ／設計負荷之比值接近1或大於1，均表示污水處理廠實際運作處理時發生超載的可能性較大。另一值得注意的是，一程序發生超負載，可能是某各別因素所形成；並非總體因素所致，如台中、嘉太及官田工業區，其流量之 Y_{90} ／設計負荷比值雖然小，但是有關BOD及SS之 Y_{90} ／設計負荷之比值卻均大於1，由此現象知一污水處理廠進流水的管制除考慮總量管制外，亦應考慮水質的限制，如此才不會對處理程序產生超載現象。

目前部份工業污水處理廠之所以有較好之處理功能表現，部份係肇因於系統負荷尚處於低於設計容量。而當系統負荷超過設計容量時，如工業區污水處理廠之調節池程序溢流時，消極方法可藉由警報器作用，關閉抽水站的抽水馬達，並通知各工廠暫時停止排放污水，而積極方法，可配合加裝調節池液位控制系統，藉由液位控制，使調節池于溢流發生前先行關閉抽水站馬達並通知各工廠停止排放污水。

2.2 程序負荷對程序控制之影響

而影響程序控制系統功能發揮除了程序負荷大於程序設計容量外，程序負荷本身的變化大小亦影響了程序控制系統的表現，而造成程序負荷變化的主要因素即是負荷變數的變化大小。以目前國內各工業區污水處理廠的狀況而言，進流水的最大負載／最小負載(turndown ratio)之比值如下所述，流量：2~7，BOD:2~13，COD:2~8，SS:2~10（估算值）。如此高的比值在一般工業製程是難以想像的。這也就是說，污水處理程序無論從水量及水質來看皆面對變化非常大的進流水（負荷變數）。這從控制觀點而言，面對變化非常大的外來負荷干擾(load disturbance)，對於程序控制及處理系統來說是不容易的。所以在控制系統的設計上，前饋控制是較為適當的選擇。

表1 工業區綜合廢水特性推估統計表

編號	工業區 名稱	工業區產業別	• 設計處理水質水量				• 實際處理水質水量			
			水量	BOD	COD	SS	水量	BOD	COD	SS
1	大武崙	機械、紡織、化工 、橡膠	1750	230	—	250	1170	270	600	150
2	中壢	綜合性	18500	250	—	300	21500	190	140	680
3	桃園幼獅	機械、電子、金屬 、塑膠製鞋	2750	250	—	200	1380	70	170	60
4	平鎮	化學、製藥、紡織 、金屬加工	5500	250	500	800	11230	190	540	140
			1700	300	800	1000	17500	240	—	—
5	新竹	綜合性	21000	200	500	200	17000	89	390	291
6	台中幼獅	綜合性	11000	300	—	360	9000	570	410	210
7	台中	化工、機械、食品 、飼料、木業	15000	250	—	200	9400	210	880	370
8	南崗	綜合性	80000	210	440	135	3000	—	400	—
9	嘉太	綜合性	2250	300	—	300	1100	40	400	400
10	民雄	綜合性	12000	350	700	300	—	150	300	170
11	官田	綜合性	10000	250	500	300	3500	175	550	129
12	永康	五金、化學、製藥	3000	180	—	200	1000	220	270	120
13	安平	綜合性	7000	350	—	400	4200	200	540	200
14	永安	綜合性	2310	280	—	350	2500	150	600	450
15	鳳山	綜合性	400	500	500	250	—	—	1100	300
16	內埔	食品、木業、金屬 、機械	2500	370	—	250	2500	370	420	130
17	屏南	綜合性	3000	190	440	180	1000	—	—	—
18	新營	綜合性	11000	320	800	350	—	—	—	—
19	斗六	綜合性	3500	240	460	180	1500	150	450	350
20	芳苑	綜合性	6000	250	630	250	2000	155	444	164

2.3 國內污水處理廠程序控制系統現況說明

污水處理廠之流程控制方式即是利用各類測量儀器如流量計、液位計、pH計、溶氧計、MLSS計，甚至溫度計，以量測負荷變數及測量變數如污水之水量及水質，並配合設定變數之設定和控制及控制器閥的作用，使程序變數如程序之水位或水質能符合程序本身要求或配合下一程序需要或達到放流水標準，讓控制程序能發揮整體功效。此外，流程控制系統尚可提供污水處理廠操作人員各種液位及水量、水質等的警報訊號，以便操作人員能及時採取應變措施。

目前國內工業污水處理廠的控制方式，多屬定時開關控制，其測量訊號則有類比連續式訊號，及間斷或訊號，大致可分為pH控制，流量（包括迴流污泥流量）控制，溶氧控制，及廢棄污泥控制四大部分，為了便於了解污水處理廠之程序控制現況，以下亦將對監測系統現況做一說明。

1. pH監測控制

國內各污水處理廠之pH監測控制，由於pH計所放位置不因控制方式（回饋控制或前饋控制）不同而作選擇，部份置於中和池進口或出口管路或中和池中，缺乏對控制環路作整體設計。

目前國內pH值控方式部份採取開關控制；部份採用誤差比例控制。開關控制方式是在設定控制器上pH的高低值，可將控制器安裝在控制室或現場，但此種控制方式由於加藥機只能輸出定量的酸或鹼，較缺乏彈性。而另一種誤差比例控制，利用誤差比較，改變加藥量時間或單位時間的加藥量。由於中和池體積小，如以以上兩種控制方式比較，誤差比例控制方式應較適合pH值的控制方式。

2. 流量監測控制

污水處理廠的流量控制，主要目的為了控制污水于曝氣池的滯留時間以及迴流污泥量的大小。有關污水流量控制方式可配合需要完成整體控制迴路。但關於迴流污泥量由於系統缺乏對懸浮固體的有效量測，以致在控制上較難達成整體效果。

最簡單的流量控制，是由操作人員設定手控制閥或閘門的開度，以控制流量大小。另一種方式，是以電動閥配合各類流量計，于現場或控制室藉由直接設定電動閥的開度或經由控制設定流量，但後者常設定電動閥的開度或經由控制器設定流量，故會因電動閥啓閉太頻繁，易造成機件故障。部份污

水處理廠，藉由水的浮力自動調整浮筒浮入水的深度，以控制定量出水。這種控制有一缺點即是由於無法得知出水量大小，常會造成曝氣池溢流現象。

目前迴流污泥量最常用的控制方式，則是使用定時器，週期性的抽送污泥，利用這種方式控制污泥流量較為簡單，但流量不易控制準確。而部份廠採取連續性自動控制由於缺乏對懸浮固體量之有效量測，以致控制效果不佳。

3. 溶氧監測控制

一般污水處理廠溶氧監測系統是由溶氧計測得的溶氧值為參考，再由操作人員更改鼓風機或表面曝氣機的操作，但此種方式缺乏整體控制迴路的設計，以致常會造成人力及電力浪費。

某些污水處理廠不只對溶氧值作偵測並配合回饋控制，控制方式分為開關和連續自動控制二種，調整電動蝶閥的開度，自動控制空氣流量的大小。然而此種控制方式由於魯式鼓風機可調節的流量範圍有限，因此如果電動蝶閥開度過大，常易引起鼓風機的溫度昇高，造成機件損壞。至於升降式的轉輪式表面曝氣機，其控制方式是藉著控制曝氣池水位的高低，使曝氣機轉輪沒入水中深度的改變而改變氣量，例如當溶氧值過低時，便由控制器升高曝氣池的排水閥高度，使曝氣機轉輪浸入水中的深度增加以提高曝氣量。

4. 廢棄污泥監測控制

沉降池、濃縮池污泥的排放，一般可分為定時排泥與污泥沉積厚度監測控制兩種。分述如下：

- 直接依污水廠操作的經驗設定污泥排除的時間定時操作泵浦。
- 利用污泥濃度偵測器偵測污泥的濃度。如果污泥沉積厚度累積到偵測器的高度時，偵測器測得的濃度值就會忽然增高，經由控制器啟動排泥設備自動排泥，但此法受制於偵測器代表性，控制效果不佳。

四、工業污水處理廠程序設計之建議

4.1 具有彈性的程序

由於污水處理廠必須面對水量水質變化相當大的情形，使得對程序的設計方面必須要注意處理工廠的彈性(resilience)，使它能應付排放污水的變化，以達成良好之處理效率以及處理設備之保養須要。

圖 4 是國外一個極具彈性的污水處理廠的程序流程圖，其中包含了下列的單元程序：中和、除砂、均勻、引水、養分補充、活性污泥、快混、沉降及後曝氣等程序為程序，具有彈性，調和池、引水池及曝氣系統被設計成互動的操作系統，調和池可緩和水質水量，引水池可降低曝氣池的尖峰負荷，如此可以較小的曝氣池容量處理非常高或有毒的廢負荷量，並且掌握調和槽所不能控制的狀況。

活性污泥單元由十二個曝氣池組成，它提供了串聯、完全混合及階段進料模式的操作，這樣的操作彈性允許程序的改變所造成的應答(response)，並且能經由迴流單元的活性污泥(return activated sludge,RAS)快速的維持一定的食／微比(F/M)，曝氣池操作方式與曝氣量也能調節程序需求。澄清池在處理程序中控制了排出的固體量廢棄的生物污泥，經由壓濾器處理。這程序設計上的雙重性(duality)加強了工廠的彈性，所有的步驟都有一個平行的部份，可以在某一獨立處理單元維修保養保持工廠的連續操作。

引水池的作用不僅可以調節水量以防超出調和池的負荷，並且可藉此調節水質，因為如果水質突變時可將污水打入引水池中，等水質恢復平常時，再將引水池中的污水循環回和進流廢水混合再進入處理單元。

4.2 測量元件對程序控制之影響

由於污水處理廠面對的進流水之水質、水量變化大，且成份複雜具腐蝕性，因此程序控制系統中的測量元件需具備以下幾點特性：

1. 可靠性

由於進流水成份複雜又具腐蝕性，因此會造成測量元件阻塞、腐蝕、故障，因此如須選擇一操作維修容易且可靠性佳的測量元件，對程序控制的完成是非常重要的。

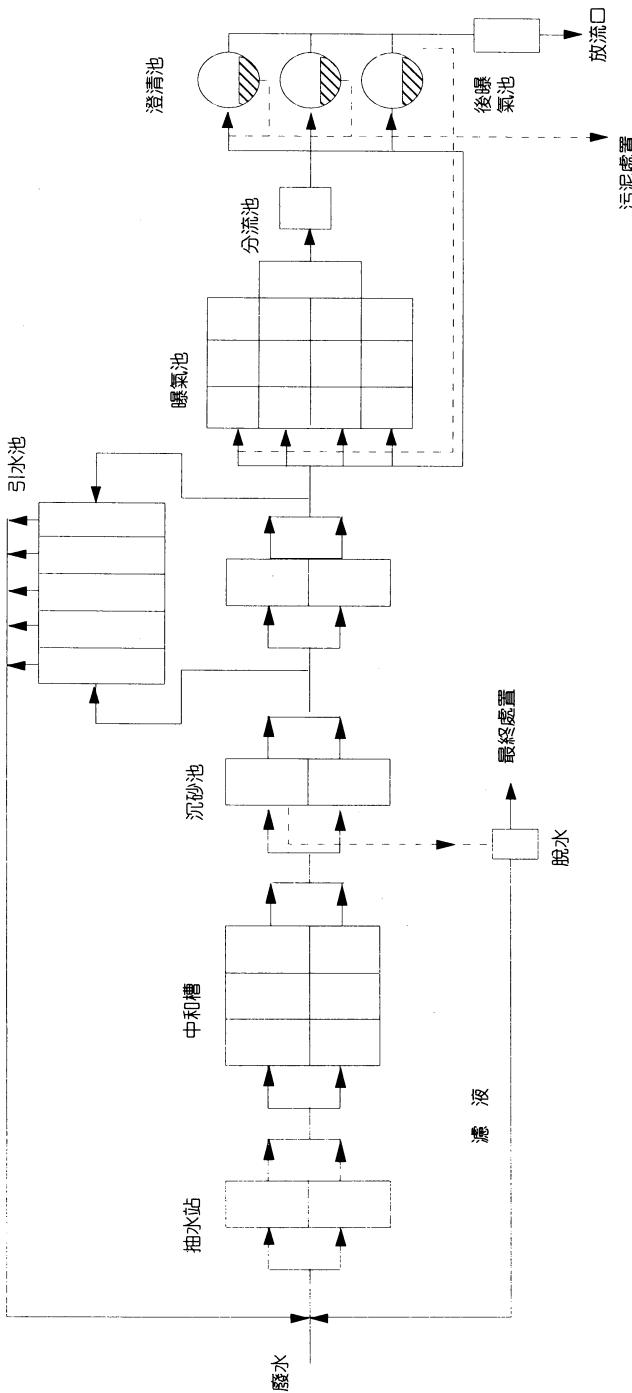


圖4 具彈性之廢水處理程序流程圖

2. 響應的快速性

時間遲延是影響控制品質的原因之一，所以快速響應的測量元件，對於一個好的控制系統是必須的。

3. 準確性

由於污水成份複雜，水質變化大，因此常造成測量的準確性無法有效掌握，但對於一程序控制系統，無法準確的測量，相當於無法有效控制，因此測量元件的準確性是不可或缺的。

所謂儀器偵測出之測量變數或負荷變數具有代表性，即是選擇的測量變數或負荷變數，能可靠地經由測量儀器快速且準確的決定，並符合控制程序之需要。以pH計測出的pH值為例，不僅pH值可經由pH計快速且準確的量測並符合控制程序之需要。但欲符合生物處理程序之需要，了解水中有機物能被生物消化分解的量，如以BOD表示最符合程序需要，但BOD的測定時間需耗時5天，無法快速地將測量變數快速地傳送至控制系統中，也即是造成5天的時間遲延，這對程序控制而言，影響是相當大的。但如以COD代表測量變數，雖然時間遲延縮小為數小時左右，但所得之測量值會因水質變化造成不準確的測量傳送。但如又以TOC代表測量變數，雖然時間遲延縮小為10分鐘，但測量傳送的準確性受水質變化的不穩定造成的影響更大。因此如何藉由考慮程序的特性，選擇一代表性之測量儀器所偵測出之測量變數或負荷變數實為污水處理廠控制程序功能發揮瓶頸突破的方向之一。

4.3 整廠的控制觀

在前面，已針對了污水處理廠的程序控制作了一些探討，並且介紹了目前國內的控制狀況，現在提供一個整廠程序控制的建議，分為以下幾點討論：

1. 基本考慮(basic consideration)

對於整個工業污水處理廠，如果有良好的控制品質，就必須有一些基本上的考慮，以下分二點說明：

- 對程序控制而言，必須了解污水處理程序本身的了解以及各子系統(subsystems)與污水間的互動知識。
- 程序控制需要很多部分的互相依賴，例如控制設備的性質及特徵、操作設備的環境，以及儀器操作方面的人為因素。

2. 控制架構

由於污水水質水量變化很大，對於整廠的控制，並不能像一般製程工廠一樣，只要各個單元控制好即可，必須能整廠各單元相互配合，才能達到程序控制的目的，為了能利用以上的控制結構來做好污水處理廠程序控制除了回饋控制，可能還必須有很多的前饋控制來配合，以免變化太大的水量或成份對程序中的單元造成太大的干擾而難以控制。

以圖1的污水處理廠為例，可能在中和槽加一個控制器以維持一定的pH值，也會在污泥迴流處加一個維持一定食微比的控制器，而為防止水量突增或水質突變，所以在中和槽進料部分，曝氣池前及調和池加一前饋控制，這些控制器皆屬於調節單元，而一旦水量或水質變化太大而使原調節單元中各控制器無法作用時，此時必須改變控制器參數。因此由決策單元決定各處理單元水質或水量的設定點再送給監督控制去調各控制器的參數以達處理水質要求。

五、結論

一般而言，愈是講求經營運作效率，則愈是重視儀器設備之測定與控制。雖然在過去觀念中常認為即使沒有量測與控制，只要有適當的設施、設備依然可操作，但這只是在講求「能夠操作」，在高效率及合理化之營運前提下，程序控制確為污水處理未來必須考慮的重要因素。