

電腦控制精確自動加藥系統之研製

The Study of using computer to control the
automatic reagent feeding system

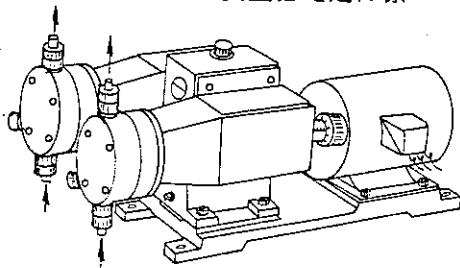
吳新煥*

壹、前言

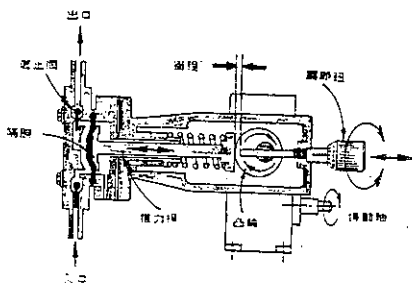
自來水淨水場中所使用的加藥機分為固體及液態兩類，在數量比例上以液態加藥機佔絕大多數；其型式大部份是採用隔膜式泵浦型，大部份仰賴外購，價格昂貴且零件補充困難費時；加藥作業的操作方式，目前大都是依據原水量、濁度、酸鹼度、溫度及其他水質特定狀況等因素，由人工計算後適當調整加藥機之加藥量，以達到最經濟合理之加藥量功能。

早期隔膜式加藥機常被命名為「定量加藥泵浦」，這是一個很不妥當的命名；根據多年實際觀察測試及若干原廠試車紀錄證實，目前淨水場中使用的隔膜式加藥機，並非名符其實的「定量」，而經常受到隔膜疲勞變形，出入口逆止閥劣化、貯藥槽液面位差變動以及管路之結晶沉澱阻塞等原因而發生顯著加藥量漂移不定現象；由是之故，嗣後宜停止使用「定量加藥泵浦」這個名稱，以免造成設計及操作人員誤解之不良後果。

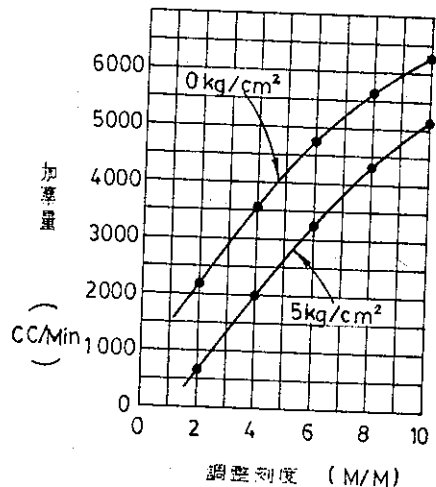
有感於目前許多加藥系統仍存在著上述諸多缺陷，同時自來水的成本控制近年來已廣被重視，如何以最低的成本獲取最高的效益，乃成為自來水從業人員當前極重要的研究工作；因此自來水操作管理人員，實有必要自力更生的自行研製一套構造簡單、價格低廉、零件不需外購、可以全自動操作，且精確穩定的新型加藥系統，以達到降低設備費、節省加藥成本、簡化維護作業、確保水質安全穩定之目標。



圖(一)
典型隔膜式
加藥機外型
圖。



圖(二)
隔膜式加藥
機剖視圖



圖(三) 隔膜式加藥機出入口液位及壓力變化之特性漂移曲線圖。

圖(一)是典型隔膜式加藥機外型圖，圖(二)是其剖視圖，圖(三)是加藥機特性曲線的實例；由其構造的複雜，以及特性曲線的漂移不可靠；因此本研究決定不再採用此種工作原理，而另外依據具有數百年公信力的差壓元件流量精確測定法，製作一套重力式加藥系統，再配合市面上普遍使用的微電腦加以整合，以達到簡單、價廉、精確全自動加藥目的。

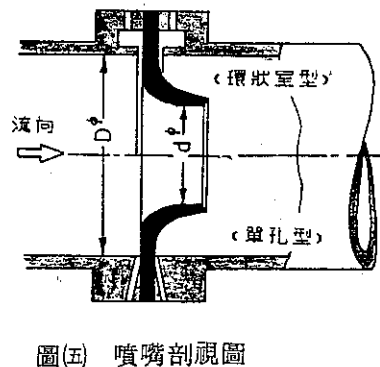
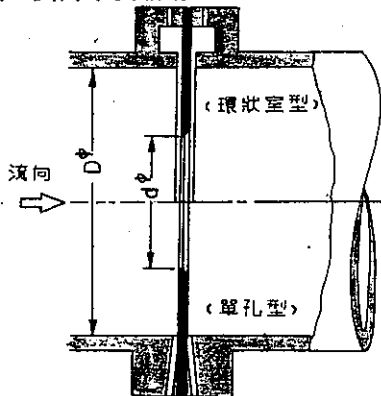
貳、重力式加藥機之原理及設計製作

一、差壓式流量量測元件之探討比較

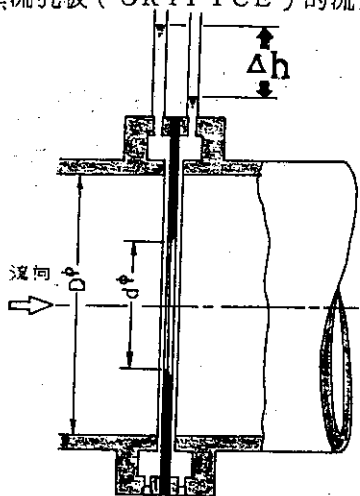
目前我們所使用的流量量測方法很多，其中歷史最久遠而且精確可靠具有權威公信力的方法，首推差壓式量測法；依據文獻記載，在西元 1791 年時，義大利人 Venturi 氏首先研究發表了文氏管之差壓原理，直到西元 1886 年才被 Clemens Herschel 氏將之應用在水量測定上；由於文氏管具有精確（ $\pm 1\%$ ）、水頭損失小（ $< \frac{1}{10}$ 差壓）及流量係數穩定的優點，因此久遠以來一直受到自來水界的偏愛；但是由於它的構造複雜且價格昂貴，使得它在一般石化、纖維、食品等工業界並不十分受到歡迎，這是由於工業界對水頭損失問題不太介意，只要能達到價廉、簡單（可以自製）、精確三原則即可，因此許多的差壓元件相繼被研究開發出來，其中已被列為標準規範者（例如 CNS、DIN、JIS、ISA 等），有噴嘴（NOZZLE）及流孔板（ORIFICE）兩種，此外尚有許許多多的流量測試被研究出來，由於它們尚無公認標準，所以不加以討論。

文氏管、噴嘴、流孔板三種差壓元件雖然其流量係數、水頭損失、安裝要求條件（指元件上、下流側之直管長度）各不相同，但是其精確度却是不相上下，以往我們偏愛文氏管而把流孔板（ORIFICE）視為不準確的元件，這是一種不實際的看法；如果我來一次差壓元件大尋根，可以知道噴嘴及流孔板確實相當精確，只不過在安裝時它的上下流側所需的直管長度較文氏管為大而已，另外它的水頭損失較文氏管大 80 ~ 90%，也是造成需要斤斤計較送水成本的自來水界不愛用的主因；同時由許多水力學專家學者用盡心血測試其特性，並訂出詳細工業標準，（例如 JIS 及 DIN 均以數十頁篇幅來說明其規範，以及工業界的大量採用流孔板為精密流量計元件，以上兩項有力佐證，使得我們必須改變觀念來肯定流孔板的可靠性。

由上分析可知，如果我們不在乎微小的水頭損失（ $< 1M$ ），則我們可以利用流孔板來自製一套簡單價廉精確的重力式自動加藥系統，詳如以下所述。



二流孔板 (ORIFICE) 的流量計算



圖(六) 流孔板差壓之取出

β^4	α	β^4	α	β^4	α	β^4	α
0.01	0.602	0.12	0.645	0.23	0.688	0.34	0.733
0.02	0.606	0.13	0.649	0.24	0.692	0.35	0.738
0.03	0.611	0.14	0.653	0.25	0.696	0.36	0.743
0.04	0.615	0.15	0.657	0.26	0.700	0.37	0.747
0.05	0.619	0.16	0.661	0.27	0.705	0.38	0.752
0.06	0.622	0.17	0.665	0.28	0.709	0.39	0.756
0.07	0.625	0.18	0.668	0.29	0.713	0.40	0.761
0.08	0.630	0.19	0.672	0.30	0.717	0.41	0.767
0.09	0.634	0.20	0.676	0.31	0.721		
0.10	0.638	0.21	0.680	0.32	0.725		
0.11	0.642	0.22	0.684	0.33	0.729		

註：(i) 上表 $\beta^4 = (\frac{d}{D})^4$

(2) 如果 β^4 值介於上表上下兩項之間，可以依比例計算之。

圖表(一) 流孔板之流量係數 (α) 表

公式：

$$Q = 86400 \alpha Ad \sqrt{2g \Delta h} \dots\dots\dots \text{公式①}$$

式中 Q：體積流量 (C.M.D.)

α ：流量係數 (詳圖表(一)所示)

$$Ad：\text{孔口截面積} = \frac{\pi d^2}{4} \quad (M^2)$$

g ：重力加速度 ($9.81 M / S^2$)

Δh ：差壓 (M)

86400：流量由 C.M.S. 換算為 C.M.D. 之係數

(公式①及圖(六)、圖表(一)取材自 J I S B-8302)

由於公式①的計算流量 (Q) 係為「體積流量」(C.M.D.)，而我們在自來水淨水作業中所採用的加藥率 (mg / ℓ) 則屬於「質量流量」(kg / Day)，因此公式①不能直接套用，必須加以修正為質量流量如下：

$$G = 86400 \alpha Ad \rho \sqrt{2g \Delta h} \dots\dots\dots \text{公式②}$$

式中 α 、 Ad 、 g 、 Δh 、86400 之單位同公式①

G：質量流量 (kg / Day)

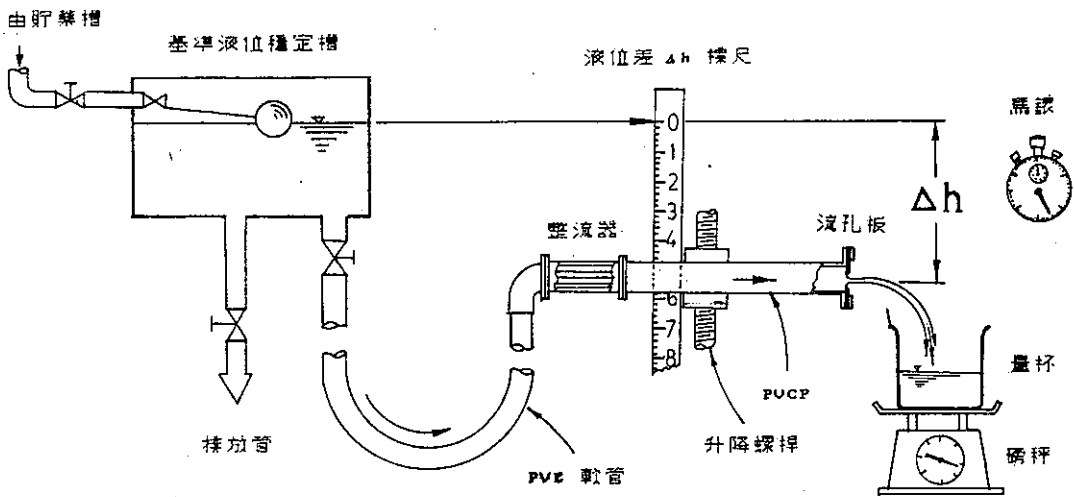
ρ ：流體密度 (kg / M^3) 【詳如圖表(二)】

藥品名稱	成份	比重	密度
聚氯化鋁 PAC	10 %	1.19	$1,190 \quad kg / M^3$
硫酸鋁 A.S.	7.5 %	1.30	$1,300 \quad kg / M^3$
氫氧化鈉 2 Na OH	32 %	1.38	$1,380 \quad kg / M^3$

圖表(二) 藥品成份及比重密度表

三重式加藥機的原理及流量係數 (a) 的檢定

圖(七)是利用浮球液面穩定槽維持一個穩定差壓 (Δh) 供給流孔板，使液態藥品固定在一個預先設定流量值，穩定流出以達到穩定加藥量目的原理圖；雖然前面已提供了流量係數 (a) 標準值，而且液位穩定槽至流孔板間之管路損頭 (LOSS OF HEAD) 極微，但是依據標準規範流孔板的入口壓力取出點是在流孔板邊緣，所以流量係數 (a) 若套用圖表(一)的值，可能會造成流量 ± 2% 左右的誤差；另外因各地氣溫不同也將造成藥品粘度的變化而使流量值產生微量漂移，為了獲得更精確的加藥量，則可依圖(七)所示簡單設備自行檢定流量係數 (a)。



圖(七) 流孔板重力式加藥原理及流量係數檢定示意圖

項次	差壓 Δh (MM)	測定時間 (sec)	測定重量 (kg)	測定流量 (kg/DAY)	流量係數 (a)
1.					
2.					
3.					

圖表(三) 流量係數檢定紀錄表

當依照圖(七)所示方法量測出各預定差壓 (Δh) 下的藥品單位時間流出重量 (kg) 後，可利用下列公式計算出藥品流量 G (kg / Day) 及流量係數 (a) 並紀錄於圖表(三)中，以供各項實驗及應用參考。

$$\therefore G = \frac{\text{測定重量 (kg)}}{\text{測定時間 (sec)}} \times 86400 \text{ (kg / Day)} \dots\dots\dots \text{公式③}$$

$$\text{且 } G = 86400 a A d \rho \sqrt{2g \Delta h} \dots\dots\dots \text{(詳前述公式②)}$$

$$\therefore a = \frac{G}{86400 A d \rho \sqrt{2g \Delta h}} \dots\dots\dots \text{公式③}$$

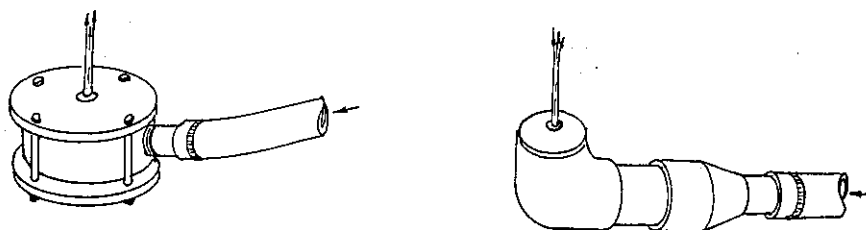
四流孔板上下流測之直管長度標準規範。

TYPE $\frac{L_1}{D}$ β ($\frac{d}{D}$)	上 流 側						下 流 側
	ORIFICE	ORIFICE	ORIFICE	ORIFICE	ORIFICE	ORIFICE	ORIFICE
≤ 0.35	6	8	18 (6)	8	9	6	2.5
≤ 0.40	7	9	18 (6)	8	10	6	3
≤ 0.45	7	9	19 (6)	9	10 (6)	6 (6)	3
≤ 0.50	7	10 (6)	20 (6)	10 (6)	11 (6)	6 (6)	3
≤ 0.55	8	11 (6)	22 (6)	10 (6)	12 (6)	7 (6)	3
≤ 0.60	9 (6.5)	13 (6.5)	24 (6.5)	11 (6.5)	13 (6.5)	7 (6.5)	3.5
≤ 0.65	11 (6.5)	16 (7)	27 (7)	12 (7)	14 (7)	8 (7)	3.5
≤ 0.70	14 (7)	18 (7.5)	31 (7.5)	13 (7.5)	16 (7.5)	10 (7.5)	3.5
≤ 0.75	18 (8)	21 (8)	35 (8)	14 (8)	18 (8)	12 (8)	4
≤ 0.80	23 (9)	25 (9)	40 (9)	15 (9)	22 (9)	15 (9)	4

(註：上表依據 J I S B - 8302)

圖表(四) 流孔板上下流側所需直管長度表

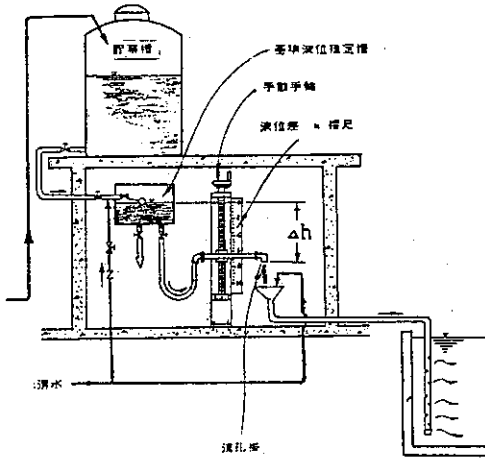
圖表(四)內括弧 () 內的數值是直管內裝置有整流器場合的 L/D 值 (L 為管長, D 為管內徑), 也就是設有整流器時所需直管可以較短之意, 流孔板上下流需有一定長度直管之目的, 是防止管內亂流所造成的流量係數漂浮變動誤差; 另外由圖表(四)也可顯示出流孔板的 β 值 (d/D 值, d 為流孔板之喉口, D 為入口端之管內徑) 越小, 則上下流側所需直管越短, 由是觀之, 我們有時為了節省水平空間, 亦可將流孔板重力式加藥機之流孔板入口管內徑放大, 使管內流速降低至趨近於零, 如此流孔板可以不需要一定長度之入口端直管, 而將流孔板設置成垂直流方式, 詳如圖(九)所示; 但如採用此種方式, 則流量係數 (α) 值已超出國際常用標準範圍, 由於使用機會太少未被列出, 必須自己依據第三節所述自行檢定。



圖(九) 流孔板 β (d/D) 值降低以減少亂流的應用例

五流孔板重力式加藥系統之配置

圖(九)係利用圖(七)所示的原理, 配置而成的重力手動式加藥系統 (自動式於後面介紹); 由圖中可知調整流孔板的高度, 即可設定一個穩定的差壓 (Δh), 以達到定量加藥目的; 另外圖中還增加了以往在隔膜式加藥系統中所沒有的清水稀釋管路, 這是經過多年的操作維護經驗, 確認它具有下列兩大功效而設置的:



圖(九) 流孔板重力式加藥系統配置圖

1. 擬長期停用加藥系統時（依水質狀況不需加藥時），先關閉貯藥槽管路，打開清水沖洗閥，並繼續加藥一段時間再停止，可達到自動稀釋加藥管路，防止沉澱阻塞管路情況。
2. 依據板新給水廠於民國七十二年所做研究報告，藥品在加入原水之前先加以稀釋，可以使藥液比重接近原水，以增加親和力達到節省用藥 8 % 目的，同時藥品稀釋可防止加藥管路沉澱結晶阻塞嚴重，需要抽換管路之不良情況。

六淨水作業加藥量之計算

$$G = \frac{\text{加藥率 (PPM)} \times Q_w}{1000} \dots\dots\dots \text{公式⑤}$$

式中 G : 加藥量 (kg / Day)

Q_w : 原水量 (C.M.D.)

例(1) 原水量為 150,000 C.M.D.，加藥率為 10 PPM (mg / ℓ)，許求加藥量為若干 kg / Day ?

解：
$$G = \frac{10 \times 150,000}{1,000}$$

$$= 1,500 \text{ kg / Day} \dots\dots\dots \text{Ans.}$$

七加藥機流孔板液位差 (Δh) 之計算

$$\therefore G = 86400 a A d \rho \sqrt{2g \Delta h} \dots\dots\dots (\text{詳公式②})$$

若 G 為已知，

$$\text{則 } \Delta h = \left(\frac{G}{86400 a A d \rho \sqrt{2g}} \right)^2 \dots\dots\dots \text{公式⑥}$$

例(2) 一淨水場之最大原水量為 150,000 C.M.D.，PAC 之加藥率若干預定為 1~50 PPM，加藥機流孔板之最大差壓預定為 Max. Δh ≐ 1000 M/M，流量係數 (a) 設為 0.602，試設計一流孔板之孔口直徑，並計算出 1~50 PPM 加藥率下之加藥量及其對應液位差 Δh 為若干 M/M ?

解：此問題若由人工計算已經不經濟，因此我們應該將此問題交給微電腦計算，將公式⑤及⑥寫成一個簡短的程式，設定加藥率範圍並輸入基本資料後，即可在數秒鐘內列印一批資料提供我們選擇；微電腦除了為我們設計加藥機流孔板的主要規格外，我們還將繼續利用它為我們搜集淨水場的原水量、濁度等資料，並依據我們預先寫入電腦程式中的建議加藥率表，經過計算後自動調整流孔板之液位差 (Δh)，以達到全自動加藥功能，詳如以下各節所述。

八流孔板之設計及加藥量、液位差之電腦程式

```
40 REM *****
50 REM * 流孔板式加藥機設計 *
60 REM *****
100 REM 基本資料輸入
200 PRINT " 流孔板式加藥機設計"
210 INPUT "原水量(C.M.D.)="; Q
220 INPUT "流孔板管徑(MM)="; D
230 INPUT "流孔板孔徑(MM)="; D2
240 INPUT "流量系數(a)="; C
250 A = 3.1416 * (D2 / 1000) ^ 2 / 4
260 GOSUB 400
300 FOR PPM = 0 TO 50 STEP 10
310 G = PPM * Q / 1000: REM 加藥量(kg/Day)
320 DH = (G / (86400 * C * A * 1190 * (2 * 9.81) ^ 0.5)) ^ 2
330 HEAD = INT (DH * 1000 + 0.5)
340 GOSUB 450
350 NEXT : PRINT : PRINT : GOTO 200
400 PRINT "加藥率= 1-50 PPM": PRINT "原水量 = "Q" C.M.D."
410 PRINT "流孔板管徑 = "D" MM.": PRINT "流孔板孔徑="D2" MM"
420 PRINT "流量系數(a)="C
430 PRINT "孔口截面積="A" 平方公尺"
440 PRINT : RETURN
450 PRINT "加藥率="PPM" PPM": PRINT "加藥量="G" (kg/Day)":
460 PRINT "液位差 = "HEAD" MM."
470 RETURN
```

前述例(二)之問題由電腦計算結果，流孔板應製作成孔口直徑為 6 M/M ϕ ，即可滿足要求條件：

加藥率 = 1-50 PPM
 原水量 = 150000 C.M.D.
 流孔板直徑 = 50 MM.
 流孔板孔徑 = 5 MM
 流體係數(α) = .682
 孔口截面積 = 1.9635E-05 平方公尺

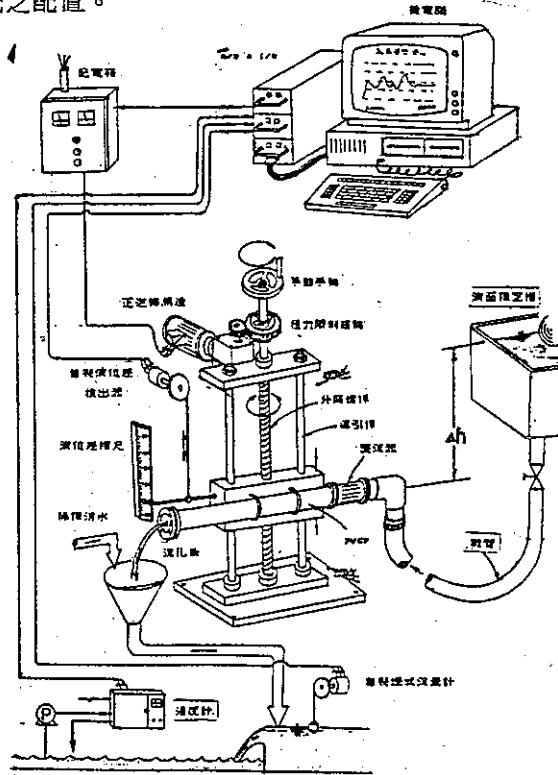
加藥率 = 0 PPM 加藥量 = 0 (kg/Day) 液位差 = 0 MM.
 加藥率 = 10 PPM 加藥量 = 1500 (kg/Day) 液位差 = 78 MM.
 加藥率 = 20 PPM 加藥量 = 3000 (kg/Day) 液位差 = 311 MM.
 加藥率 = 30 PPM 加藥量 = 4500 (kg/Day) 液位差 = 599 MM.
 加藥率 = 40 PPM 加藥量 = 6000 (kg/Day) 液位差 = 1242 MM.
 加藥率 = 50 PPM 加藥量 = 7500 (kg/Day) 液位差 = 1941 MM.

加藥率 = 1-50 PPM 原水量 = 150000 C.M.D. 流孔板直徑 = 50 MM. 流孔板孔徑 = 6 MM 流體係數(α) = .682 孔口截面積 = 2.82744E-05 平方公尺	← 採用
加藥率 = 0 PPM 加藥量 = 0 (kg/Day) 液位差 = 0 MM.	
加藥率 = 10 PPM 加藥量 = 1500 (kg/Day) 液位差 = 37 MM.	
加藥率 = 20 PPM 加藥量 = 3000 (kg/Day) 液位差 = 150 MM.	
加藥率 = 30 PPM 加藥量 = 4500 (kg/Day) 液位差 = 337 MM.	
加藥率 = 40 PPM 加藥量 = 6000 (kg/Day) 液位差 = 599 MM.	
加藥率 = 50 PPM 加藥量 = 7500 (kg/Day) 液位差 = 936 MM.	

加藥率 = 1-50 PPM
 原水量 = 150000 C.M.D.
 流孔板直徑 = 50 MM.
 流孔板孔徑 = 7 MM
 流體係數(α) = .682
 孔口截面積 = 3.04846E-05 平方公尺

加藥率 = 0 PPM 加藥量 = 0 (kg/Day) 液位差 = 0 MM.
 加藥率 = 10 PPM 加藥量 = 1500 (kg/Day) 液位差 = 20 MM.
 加藥率 = 20 PPM 加藥量 = 3000 (kg/Day) 液位差 = 81 MM.
 加藥率 = 30 PPM 加藥量 = 4500 (kg/Day) 液位差 = 182 MM.
 加藥率 = 40 PPM 加藥量 = 6000 (kg/Day) 液位差 = 323 MM.
 加藥率 = 50 PPM 加藥量 = 7500 (kg/Day) 液位差 = 585 MM.

九電腦控制全自動加藥系統之配置。



圖(十) 電腦控制全自動流孔板重力式加藥系統配置圖

當我們充分了解圖(九)所示手動式流孔板重力加藥機的工作原理後，就可以增加一些附屬配件，以達到電子遙控或電腦全自動控制功能；圖(十)所示為可自行研製的微電腦控制加藥系統，所須增加自動控制配件如下：

1. 個人用微電腦（附加A—D CONVERTER 及 I/O 介面）一組。
2. 堰式流量計一套（自行製作，詳見74年9月25日臺水月刊二卷十二期）。
3. 濁度計一套（利用現有濁度計1~5 V信號或自行配製，自製法另文提出報告）。
4. 液位差（ Δh ）檢出器一套（自行配製，構造與第2項堰式流量計相同）。
5. 正逆轉三相或單相馬達及變速箱一套（1/10 ~ 1/4 HP）。
6. 無接點開關S S R二只（馬達正逆轉由電腦控制介面用）。

當上列零組件配置完妥後，即可開始規劃分析設計電腦程式（PROGRAM），經過測試除錯到滿意時，便可正式派上用場，把加藥作業之計算、控制、監視工作完全交給電腦執行；有關程式的設計因配合大會研討時間之限制，容待將來在其他報告中提出。

叁、結 論

流孔板重力式加藥機不但價格低廉、構造簡單，而且維護容易，全部零組件不帶外購；同時精確度高操作情況一目了然，可以依使用單位之需要設計成手動式、遙控式及電腦全自動監視控制式等多種型式；因此，如能繼續加以研究改進其功能及外觀並推廣使用，必可達到減低設備投資費用、節省人力、節約用藥，並使自來水電腦化邁向更上一層樓。

許多曾赴鄰國日本考察的工業界人士，都有一個共同的體認，就是日本的工業自動化優異成果，主要歸功於對研究發展的重視；在日本的工廠裏自動化機具設備中，由公司研究人員自行設計的佔有極大比例，少部份由歐美進口的特殊設備也要經過工廠加以改良後才併入生產線上使用，反觀國內偏愛外貨的觀念尚根深蒂固，有待改變；願借此小小研究心得，拋磚引玉，共同提昇自來水設備之研究發展風氣。