

以溶氧變化率控制廢水處理系統之電腦模擬

蕭旭欣* 張有義**

摘要

本論文係以活性污泥槽中溶氧的變化率控制二級沉降槽底部污泥迴流比的方法，以電腦模擬的方法針對進料水的流量，濃度產生突載(shock loading)時，進行一系列的動態模擬(dynamic simulation)。由其結果發現，此溶氧控制法對於廢水濃度的突載變化有良好的控制效果，對於流量的突載變化則其控制效果較差。

一、前言

在筆者前一篇有關於非穩定狀態活性污泥法的電腦模擬程式中⁽¹⁾，係以二級沉降槽中污泥累積量控制其底部污泥排放量的方法，進行整個廢水處理系統的動態模擬。此法雖然可以有效的控制進料水各種不同的突載變化，但其缺點有三：1. 無法有效的控制活性污泥槽中溶氧的變化濃度在合理的範圍值內，因而無法正確的預估活性污泥槽中好氧性污泥的活性(activity)。2. 二級沉降槽中描述污泥連續式沉降行為的理論公式，雖然在筆者的前一篇論文中已有詳述，但其中的假設條件與實際狀況仍有出入。3. 測量二級沉降槽中不同深度的污泥濃度，雖可以超音波感測器測得，但其干擾度(noise)常會造成實際控制上的困難。因此，筆者在本篇論文中嘗試著以另一種控制方法－控制活性污泥槽中溶氧變化率和污泥迴流比－來進行進料水在各種可能突載狀況的電腦動態模擬，其原理則如下節所述。

* 私立東海大學化工系大學部專題生

**私立東海大學化工系副教授

二、溶氧變化率的控制原理

依圖 1 所示，對廢水中的基質 (substrate) 和污泥做質量平衡可得：

$$\frac{dS}{dt} = \frac{F(S_0 - S)}{V} - \frac{\mu X}{Y} \quad \text{--- (1)}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{FX_0 - F_W X_R - FX_E}{V} + (\mu - K_D)X \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

式中， x_0 =進料水中污泥的濃度

x =污泥的濃度

X_R = 污泥迴流濃度

x_F = 出料水中的污泥濃度

S_0 =進料水中的基質濃度

S=出料水中的

F=進料水流量

F_w =污泥排放流量

V = 活性污泥槽的

μ = 汚泥生長速率

K_D =污泥死亡速率

Y=每消耗一公克基質所能產生的污泥質量。

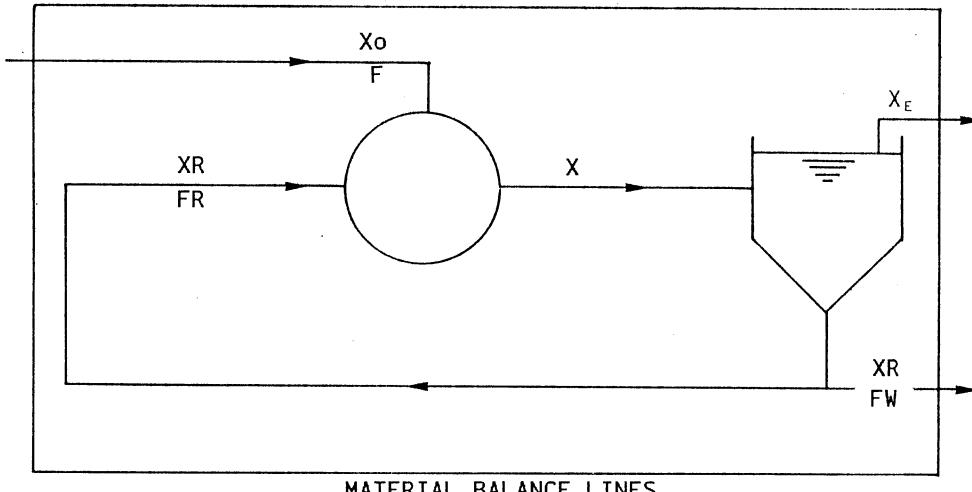


圖 1 廉水處理流程圖

假設在穩定狀態時(steady state)，進料水中的污泥濃度為零時，公式(1)和公式(2)可簡化為：

$$\frac{\mu}{Y} = \frac{S_0 - S}{X\theta_H} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

$$\mu - K_D = \frac{F_W X_R + F X_E}{V X} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

式中， θ_H =活性污泥槽中廢水的停留時間

若出料水中的基質濃度遠低於進料水中的進料濃度時，亦即此廢水系統的處理效果相當正常時，公式(3)可簡化為：

$$\text{食微比}(F/M) = \frac{\mu}{Y} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

根據定義，公式(4)等號的右邊即為污泥齡(sludge age)的倒數：

$$\frac{1}{\theta c} = \mu - K_D \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

由公式(5)和公式(6)可知，當控制 F/M 值或 θc 值時，即可控制污泥成長速率 μ 值，當 μ 值獲得控制時，由下列公式中可看出，出料水中的基質濃度(BOD_5 或 COD)也可獲得控制。

$$\mu = \frac{\bar{\mu}S}{K_s + S} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

式中， μ =污泥最大生長速率係數

K_s =saturation constant

上述的兩種控制方法，在一般教科書中均有說明，亦為最簡單的傳統廢水控制方法。但此兩種方法最大的缺點為此方法的假設條件是否成立？例如，污泥齡控制法中進料水中的污泥濃度是否可忽略？ F/M 控制法中出料水中的基質濃度是否真的可忽略，尤其在整個處理系統操作不正常時。此外，此兩種方法最大的缺點為穩定狀態的假設，在實際現場操作過程中，(尤其是化工廠的廢水處理)，常有進料水流量或是濃度突變現象的發生，因此當系統從一舊的穩定狀態達到新的穩定狀態的所需時間中，此兩種控制方法將無法發揮作用，也無法縮短此不穩定狀態的時間。因此，在1980年初期，隨著溶氧電極的發明，經由下列公式，也可經由控制活性污泥槽中溶氧的濃度而達到控制污泥生長速率係數 μ 值的效果⁽²⁾：

$$SCOUR = \frac{OUR}{VX} = \frac{1-Y}{Y} \mu + K_{OEX} K_D \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

式中， OUR =溶氧消耗速率

K_{OEX} =污泥的等當量氧濃度

由上式可知，當 SCOUR 獲得控制時， μ 值也可獲控制。若將此法與污泥齡法， F/M 比例法比較時，其優點為：

1. 由公式(8)可知，SCOUR 控制法不須測量進料水中的基質濃度，而公式(3)中的 F/M 比例控制法則須隨時測量。
 2. 公式(4)中的污泥齡控制法須要控制二級沉降槽底部污泥的排放量，而SCOUR 法則不需要，故此法可降低實際現場操作的困難度。
 3. SCOUR 法不包含進料水中污泥的濃度和出料水中基質的濃度，而這兩項因數常會造成 F/M 法和污泥齡法的誤差。
 4. SCOUR法可適用於非穩定狀態時的控制， F/M 法和污泥齡法祇能適用於穩定狀態下的廢水處理系統。

基於上述各項優點可知SCOUR 法特別適用於當進料水的流量和基質濃度產生突載時的控制系統。本篇論文採用調整污泥迴流比以 feedback , P-control 的方式控制活性污泥槽中 SCOUR 的變化，其關係公式為：

$$FR = FR_{avg} * [(SCOUR - SCOURSP) * GAIN + 1.0] \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

其中： FR_{avg} = 平均污泥迴流量

= 進料水流量 * 0.3

SCOURSP=SCOUR的set point

GAIN=P-controller的gain

其控制方法為每隔一時間間隔（約 0.1小時），依圖 1 的流程將各項參數輸入附錄中的程式中，計算公式(8)中的SCOUR 值，再代入公式(9)計算此一時段污泥迴流量FR值，將時間進入下一時段時再重複進行上述的計算。其效果可由出料水流量和基質濃度的收斂情形來判斷。附錄中的程式係以FORTRAN-77寫出，一般的個人電腦均可進行。在實際現場操作時可以DCS (distribute computer system) 進行，重點為在溶氧電極和污泥迴流泵的變速齒輪箱之間裝置一P 型控制器。

三、動態模擬的結果與分析

本篇論文的動態模擬時間係以24小時為一週期。動態模擬分三種狀態進行：1.進料水的流量和基質濃度(BOD_5)都維持在定值時，2.進料水的流量在第7小時和第9小時之間產生突載，而基質濃度維持不變時，3.進料水的基質濃度在第7小時和第9小時之間產生突載，而流量維持不變時。詳細的數據和各項參數的值整理如表1所示。動態模擬結果如圖2至圖6所示。圖2為污泥迴流量與時間的關係，圖3為活性污泥槽中溶氧與時間的變化關係，圖4為出料水中 BOD_5 與時間的變化關係，圖5為迴流污泥濃度與時間的變化關係，圖6為出料水中懸浮固體總濃度與時間的變化關係。針對表1的輸入數據，茲將上述的模擬結果總結如下：

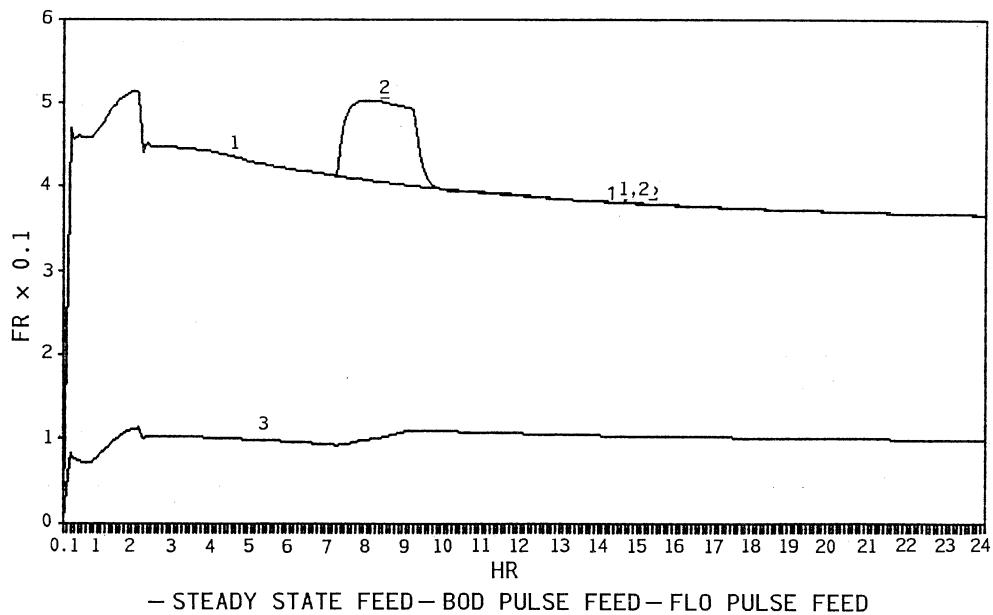


圖 2 在下列諸狀況下的污泥迴流比率：

1. 穩定狀態進料。
2. 在第七至第九小時 BOD_5 突從 300ppm 增加至 320ppm 時。
3. 在第七至第九小時水量突從 $1,000\text{m}^3/\text{day}$ 增加至 $1,010\text{m}^3/\text{day}$ 時。

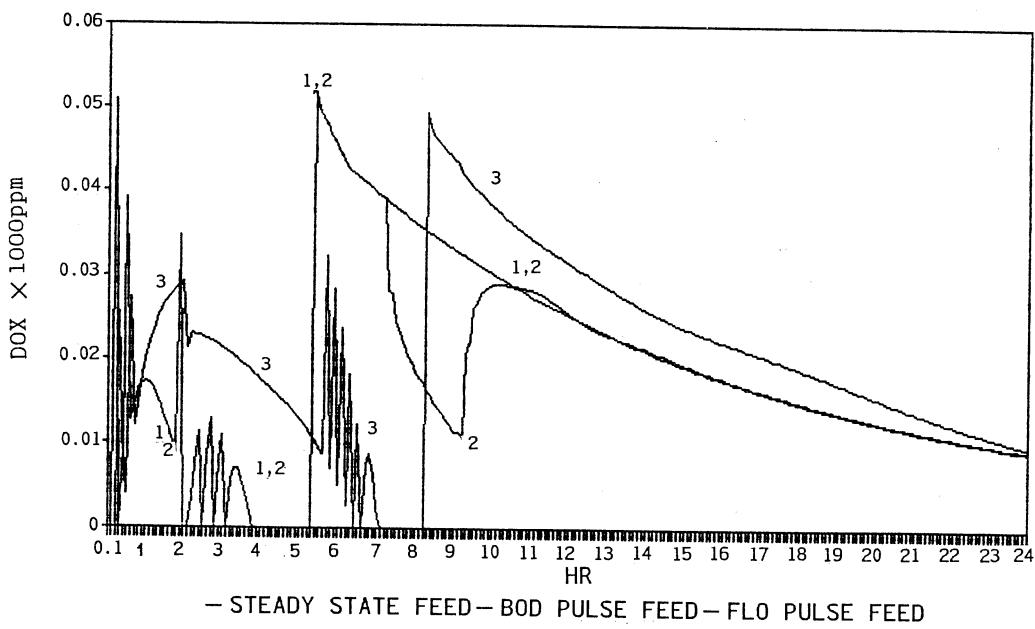


圖 3 在下列諸狀況下的溶氧濃度變化情形：

1. 穩定狀態進料。
2. 在第七至第九小時 BOD_5 突從 300ppm 增加至 320ppm 時。
3. 在第七至第九小時水量突從 $1,000\text{m}^3/\text{day}$ 增加至 $1,010\text{m}^3/\text{day}$ 時。

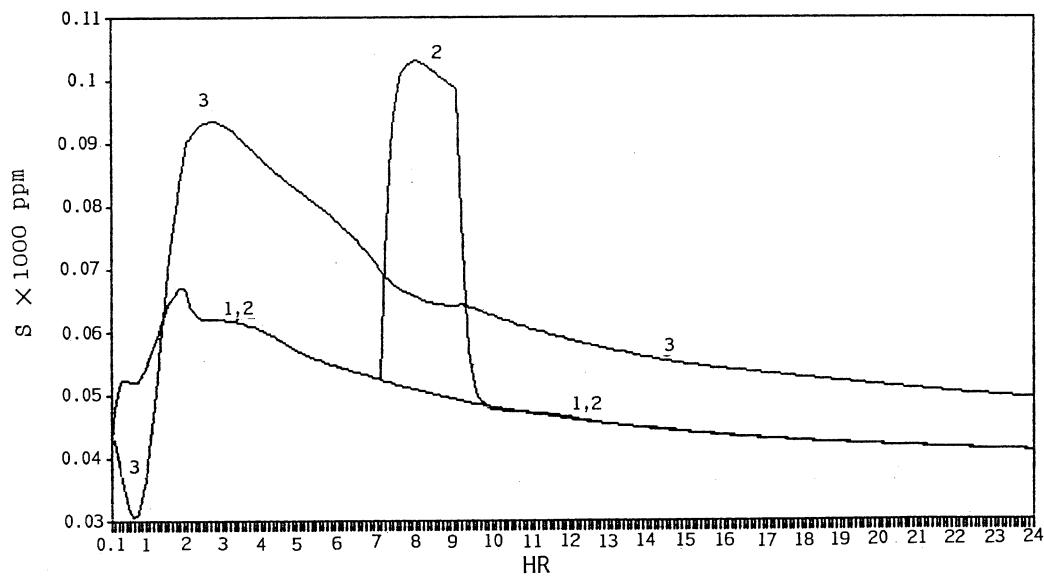


圖4 在下列諸狀況下出料水中BOD₅變化的情形
— STEADY STATE FEED — BOD PULSE FEED — FLO PULSE FEED

1. 穩定狀態進料。
2. 在第七至第九小時BOD₅突從300ppm增加至320ppm時。
3. 在第七至第九小時水量突從1,000m³/day增加至1,010m³/day時。

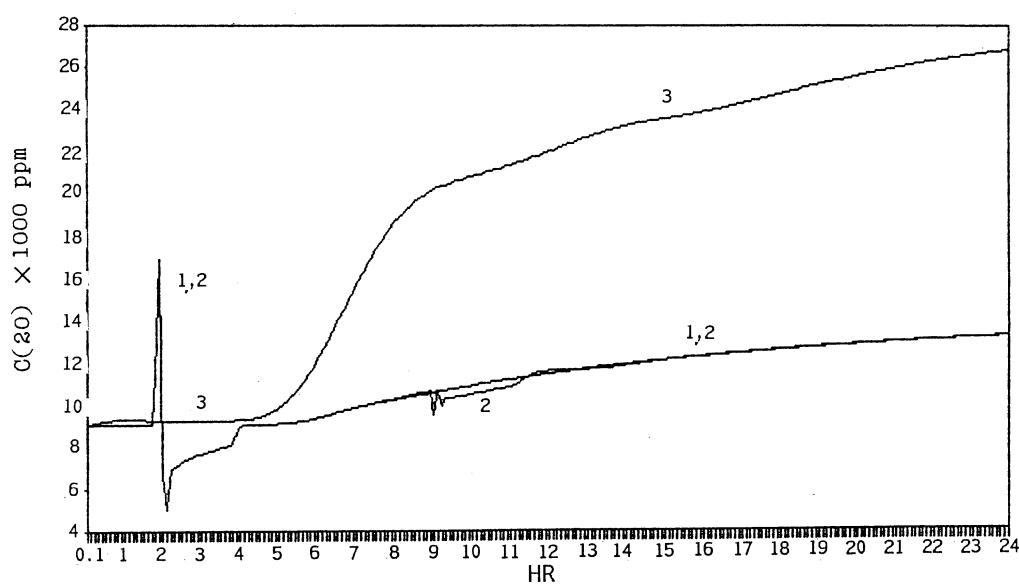


圖5 在下列諸狀況下迴流污泥濃度變化的情形
— STEADY STATE FEED — BOD PULSE FEED — FLO PULSE FEED

1. 穩定狀態進料。
2. 在第七至第九小時BOD₅突從300ppm增加至320ppm時。
3. 在第七至第九小時水量突從1,000m³/day增加至1,010m³/day時。

表 1 電腦動態模擬結果

輸入變數，模式參數，輸出結果

	range
Input Variables	$F = 1000 - 1010 \text{ m}^3/\text{hr}$ $SINN = 300 - 320 \text{ ppm BOD}_5$ $SSIN = 200 \text{ ppm SS}$ $SNH4IN = 100 \text{ ppm NH}_4$
Model Parameters	<p>Primary Clarifier: $AP = 300 \text{ m}^2$, $VPRIM = 1000 \text{ m}^3$, $FRACV = 0.79$, $FRACB = 0.75$, $CXTPU = 1.0$, $XVPU = 0.3$, $XNVPU = 0.7$, $FUNDER$, $CXTPU$, $CXVPU$, $CXNVPU$, $VWEIRP$, HPS, $SPI(J)$, $SSI(J)$, $SNH4(J)$, RR, $SPFEED$.</p> <p>Activated Sludge Tank: $VA = 5000 \text{ m}^3$, $KOES = 0.79$, $RT = 5.0$, $Um = 0.1042$, $Kd = 0.0021$, $fsm = 0.45$, $fs = 0.2$, $ks = 0.06$, $RXAm = 0.3$, $Y1 = 0.66$, $Kfs = 0.2$, $Y2 = 0.25$, $RXI = 0.015$, $YNS = 0.05$, $KSNS = 0.001$, $UNSM = 0.022$, $KN = 0.7277E-3$, $YNB = 0.02$, $UNBM = 0.04$, $KSNB = 0.001$, $KDNS = 0.005$, $KDNB = 0.005$, $KLA = 0.917$, $KH = 0.044$, $XS = 0.8$, DOI, XA, XI, XS, XT, FR, $OVER$, FP, DOX, XNS, XNB, $SNO2$, $SNO3$, $RDOH$, $RDON$, RDO, $RDOT$, $XNH4$, $RSNH4$, $RHNH4$, RXI, RXS, RS, $DOA(KK)$.</p> <p>Recycle Line: $SNO2R$, $SNO3R$, XSR, XAR, XIR, SR, $XNH4R$, $RDOT$, FR, $FRavg$, $GAIN$, $SCOURP$, $SCOUR$.</p> <p>Secondary Clarifier: $Area = 2500 \text{ m}^2$, $dz = 0.2\text{m}$, $J = 20$, Q, C_0, U, U_1, $C_I(J)$, $G(J)$, $C(J)$, $M(J)$, $V(CC)$, XE, $TSSOUT$</p>
Results	$Fr = 0.4 - 0.53$ for the case of BOD_5 pulse. $Fr = 0.1 - 0.3$ for the case of flow rate pulse. DO converges to 10 ppm. BOD_5 converges to (or less) 50 ppm. Recycle Sludge Conc. = 10000 - 15000 ppm. TSS converges to (or less) 10 ppm.

1. 採用 SCOUR控制法時，污泥迴流量與進料水中基質濃度呈正比例的變化，而與進料水流量的變化無密切關係。
2. 當進料水中基質濃度產生突載時，活性污泥槽中的溶氧在第 7小時至第 9小時之間會急劇的下降，但其濃度會很快的回升至穩定狀態時的值。在進料水流量產生突載時，對於溶氧的影響不大。
3. 圖 4 中出料水的 BOD_5 值在三種模擬狀態下均會很快的收斂。
4. 當進料水流量產生突載時，由圖 5 可看出，迴流污泥的濃度會明顯的增加，在基質濃度產生突載時則不會。
5. 出料水中的懸浮固體總濃度與圖 5 的變化趨勢相同。 TSS 在水量突載時會增加，在基質濃度產生突載時則不會。
6. 三種模擬狀態的出料水 BOD_5 值和 TSS 值均可收斂至合理的排放標準內。
7. 公式(9)中的 FR_{avg} 值和 $GAIN$ 值與上述圖形的收斂速率有著密切的關係。在穩定狀態和進料水基質濃度產生突載時，上述圖形的 FR_{avg} 和 $GAIN$ 值分別為 0.405 和 400。

但此數據則無法用於進料水流量產生突載時的狀況。在進料水流量產生突載時，本論文的 FR_{avg} 和 $GAIN$ 值分別為 0.15 和 200。如果將公式(9)中的 P-controller 改為 PID controller 則可避免此缺點。

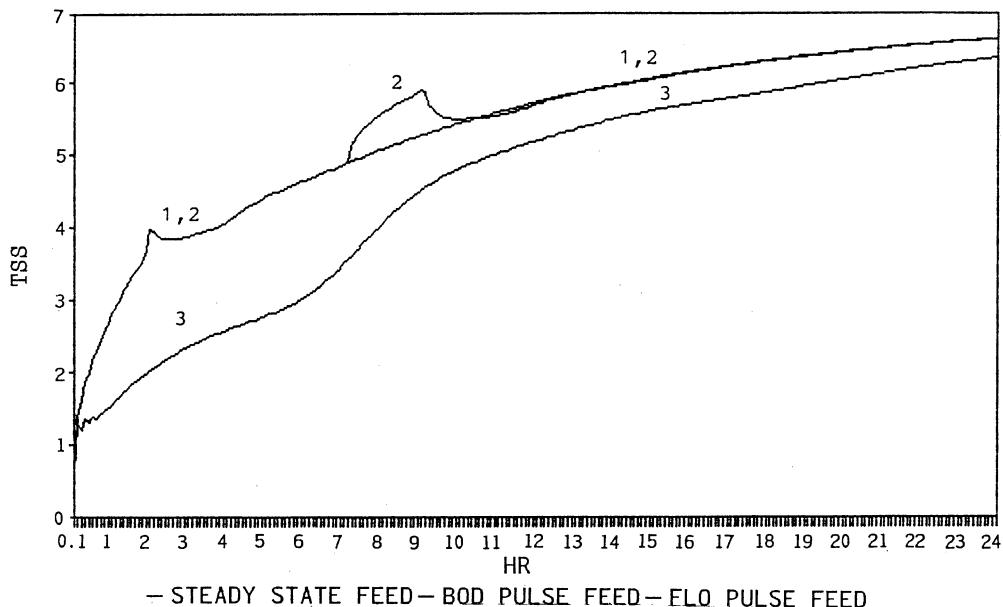


圖 6 在下列諸狀下出料水中 TSS濃度的變化情形

1. 穩定狀態進料。
2. 在第七至第九小時 BOD_5 突從 300ppm 增加至 320ppm 時。
3. 在第七至第九小時水量突從 $1,000\text{m}^3/\text{day}$ 增加至 $1,010\text{m}^3/\text{day}$ 時。

四、結論

本篇論文描述了SCOUR法較F/M法和污泥齡法在廢水處理系統控制上的優越性，並且由電腦模擬範例結果發現此法能夠有效的控制整個處理系統，出料水的品質也可控制在排放標準內。然而此法的缺點為 FR_{avg} 值和GAIN值的選擇，在處理不同流量和基質濃度的廢水時，此兩值的設定必須十分小心。

五、參考資料

- (1)張有義，非穩定狀態活性污泥法之電腦模擬，工業污染防治，pp.157-171，1990年4月。
- (2)Attir, V. and Denn, M.M. Dynawics and control of the activated sludge wastewater process, Vol.24, No.4, PP. 693-703, AICHE J., 1978.

附 錄 電腦動態模擬結果

```
$DEBUG
PROGRAM WASTEWATER
REAL KSNS,KN,KSNB,KDNS,KDNB,KLA,KH,KOES,KS,KFS,KD
REAL SP(6),SS(6),SNH4(6),SPI(6),SSI(6),SNH4I(6)
REAL C(20),M(20),G(20),CI(20),DOA(4),SETPOINT(6),RELEASE(6)
INTEGER TN
ThR=0.
DT=0.1
I=0
dz=0.2
u1=0.1
tot=0.
C      F=1000   { FEED FLOW RATE (M^3/Hour) }
C      AP=300    { PRIMARY CLARIFIER CROSSING AREA (M^2) }
FRACV=0.79
C { FRACTION OF INFLUENT TSS WHICH IS VOLATILE SOLID CONC. }
FRACB=0.75
C { FRACTION OF INFLUENT TSS WHICH IS BIODEGRADABLE }
KOES=0.79
C      VPRIM=1000 { PRIMARY CLARIFIER VOLUME (M^3) }
C      SNH4IN=0.1 { INFLUENT SNH4 CONCENTRATION (THOUSAND PPM) }
C      SINN=0.3   { INFLUENT SOLUBE SUBSTRATE CONCENTRATION (THOUSAND PPM) }
C      SSIN=0.2   { INFLUENT SUSPENDED SOLID CONCENTRATION (THOUSAND PPM) }
FUNDER=0.
C { PRIMARY CLARIFIER UNDERFLOW RATE (M^3/Hour) }
C      CXTPU=1    { PRIMARY CLARIFIER UNDERFLOW TOTAL SOLIDS CONC. }
XVPU=0.3
XNPVU=0.7
C      CXVPU=40.0 { PRIMARY CLARIFIER VOLATILE SOLIDS CONC. }
C      CXNPVU=50.0 { PRIMARY CLARIFIER UNDERFLOW NONVOLATILE SOLID CONC. }
C      FP=500     { FINAL PRIMARY CLARIFIER OUTPUT (M^3/Hour) }
VWEIRP=0.
C { INITIAL WEIR VOLUME }
SNO2=0.001
SNO3=0.001
SNO2R=0.001
C { RECYCLE SNO2 }
SNO3R=0.001
C { RECYCLE SNO3 }
RT=5.
Um=0.1042
kd=0.0021
fsm=0.45
fs=0.2
ks=0.06
RXAm=0.3
Y1=0.66
Kfs=0.2
Y2=0.25
RXI=0.015
YNS=0.05
KSNS=0.001
UNSM=0.022
KN=0.7277e-3
YNB=0.02
UNBM=0.04
KSNB=0.001
KDNS=0.005
KDNB=0.005
KLA=0.917
KH=0.044
XS=0.8
xsr=0.8
```

```

CC RECYCLE STORE MASS CONC. }
    XA=0.6
    XAR=0.6
CC RECYCLE ACTIVEED MASS CONC. }
    XI=0.2
    XIR=0.2
CC RECYCLE INERT MASS CONC. }
    SR=0.05
    XNS=0.1
    XNB=0.08
    XNH4=0.003
C C INITIAL NH4 CONC.}
    XNH4R=0.003
    XNH4D=0.003
    DDX=0.005
C     P=1      { PRESSURE }
C     VA=5000
    DDR=0.005
    RDOT=0.001
    DOI=0.005
C     S=0.05  { INITIAL BOD CONC. }

*****
* main program *
*****

OPEN(1,FILE='WASTE1.DAT')
OPEN(2,FILE='WASTES1.PRN',status='new')
OPEN(4,FILE='WASTES2.PRN',status='new')
READ(1,*)F,AP,VPRIM,SNH4IN,SINN,SSIN,CXTPU,CXVPU,CXNVPU,FP,P,VA
READ(1,*)S,SCOURP
WRITE(*,*)'GAIN= ,FRavg= ,FLOW PULSE= '
c      GAIN=200,FRavg=0.15,FLOW PULSE=10
READ(*,*)gain,FRavg,FPULSE
DO 8 J=1 , 20
8       CI(J)=9.
DO 10 K=1 , 20
10      M(K)=9
* 2ND CLARIFY DATA
    DO 20 J=1 , 6
* SET INITIAL EACH ARRAY=0
* PRIMARY CLARIFIER SOLUBE EFFLUENT CONC.
    SPI(J)=0.1
        * TSS
* TSS
    SSI(J)=0.05
* SNH4
20       SNH4I(J)=0.025

VPRIM5=VPRIM/5.
WRITE(*,30)VPRIM,AP
WRITE(*,40)SINN,SSIN,SNH4IN
WRITE(*,*)'-----'
30   FORMAT(1X,'VPRIM=',F6.1,' AREA=',F5.1)
40   FORMAT(1X,'SIN=',F5.3' SSIN=',F5.3,' SNH4IN=',F5.3)

* ACTIVE SLUDGE TANK DATA

*****
* 1ST CLARIFY MAIN PROGRAM
*****
* REMOVAL OF SUSPENDED SOLIDS

OVEL=5./3.
50   I=I+1
    RR=(7.01275/100.*EXP(4.* ALOG(OVEL))-1.29485*EXP(3.* ALOG(OVEL))+_
+ 6.0471*EXP(2.* ALOG(OVEL))-12.961*OVEL+84.9049)/100.

```

```

SPFEED=SINN*KOES
XNVPU=XNVPU+(F*SSIN*(1.-FRACV)*RR-FUNDER*CXNVPU)*DT
XVPU=XVPU+(F*SSIN*FRACV*RR-FUNDER*CXVPU)*DT
CXNVPU=XNVPU*CXTPU/(XNVPU+XVPU)
CXVPU=CXTPU-CXNVPU
HPS=(XNVPU+XVPU)/(AP*CXTPU)
SSOUT=SSIN*(1.-RR)
IF (HPS .GT. 1.) THEN
    FUNDER=100.
    ELSE
        IF (HPS .LT. 0.5) FUNDER=0.
    ENDIF

* FIRST FOUR TANKS IN SERIES
SP(1)=SPFEED
SS(1)=SSOUT
SNH4(1)=SNH4IN
DO 60 J=2 , 5
    SP(J)=SPI(J)+(SPI(J-1)-SPI(J))*(F-FUNDER)*DT/VPRIMS
    SS(J)=SSI(J)+(SSI(J-1)-SSI(J))*(F-FUNDER)*DT/VPRIMS
60      SNH4(J)=SNH4I(J)+(SNH4I(J-1)-SNH4I(J))*(F-FUNDER)*DT
             /VPRIMS
* FIFTH TANK
VWEIR=VWEIRP+(F-FP-FUNDER)*DT
HWEIR=VWEIR/AP
OVEL=FP/AP
DV=(VWEIR-VWEIRP)/DT
SP(6)=SPI(6)+((F-FUNDER)*SPI(5)-FP*SPI(6)-SPI(6)*DV)*DT/(VPRIMS+
+ VWEIR)
SS(6)=SSI(6)+((F-FUNDER)*SSI(5)-FP*SSI(6)-SSI(6)*DV)*DT/(VPRIMS+
+ VWEIR)
SNH4(6)=SNH4I(6)+((F-FUNDER)*SNH4I(5)-FP*SNH4I(6)-SNH4I(6)*DV)
+ *DT/(VPRIMS+VWEIR)
VWEIRP=VWEIR
SNH40=SNH4(6)
SO=SP(6)+KOES*SS(6)*FRACV
XIO=(1-FRACB)*SS(6)*FRACV
XNO=SS(6)*(1-FRACV)
FP=0.81*3600.*EXP(2.5*ALOG(HWEIR))
DO 70 J=1 , 6
    SPI(J)=SP(J)
    SSI(J)=SS(J)
70      SNH4I(J)=SNH4(J)
* END 1ST CLARIFY

*****
* ACTIVE SLUDGE TANK MAIN PROGRAM *
*****



XT=XA+XI+XS
FS=XS/XT
OVER=FP
FR=FRavg*OVER

*****
* substrate..... *
*****
DO 120 K=1 , 4
RS=(UM*(S/(KS+S))-KD)*XS
*****
* storage mass... *
*****
RXS=RT*(FSM*(S/(KS+S))-FS)*XT-RXA1/Y1
IF (K .EQ. 1) THEN
    XS=XS+(4.*((FR*XSR-(OVER+FR)*XS)/VA+RXS)*DT
    S=S+(4.*((OVER*SO+FR*SR-(OVER+FR)*S)/VA-RS)*DT

```

```

ELSE
    XS=XS+RXS*DT/(1.+4.*DT*(OVER+FR)/VA)
    S=S-RS*DT/(1.+4.*((OVER+FR)*DT/VA))
ENDIF

*****
* inert mass.... *
*****
RXI1=Y2*RXI*XA
IF (K .EQ. 1) XI=XI+(4.*((OVER*XID+FR*XIR-(OVER+FR)*XI)/VA+RXI1)
+
           *DT
XI=XI+ RXI1*DT/(1.+4.*DT*(OVER+FR)/VA)

*****
* active mass.... *
*****
RXA1=RXAM*(FS/(KFS+FS))*XA
RXA=RXA1-RXI*XA
IF (K .EQ. 1) THEN
    XA=XA+(4.*((FR*XAR-(OVER+FR)*XA)/VA+RXA)*DT
ELSE
    XA=XA+RXA*DT/(1.+4.*DT*(OVER+FR)/VA)
ENDIF
* NITROGENOUS ....

*****
* ammonium .... *
*****
RSNH4=UNSM*XNS/YNS
RHNH4=KN*RXA*(XS/(KS+XS))*XA-KN*(1.-Y2)*RXI*XA
IF (K .EQ. 1) THEN
    XNH4=XNH4+(4*((OVER*XNH4O+FR*XNH4R-(OVER+FR)*XNH4)/VA-
+
           RSNH4-RHNH4)*DT
ELSE
    XNH4=XNH4-(RSNH4+RHNH4)*DT/(1.+4.*DT*(OVER+FR)/VA)
ENDIF

*****
* nitrite & nitrate *
*****
RSNO2=(UNSM*XNS/YNS)-(UNBM*XNB/YNB)
RSNO3=(UNBM*XNB)/YNB
*FIRST CSTR DOX CONTROLLER
DO 1 KK=1 , 4
1   DOA(KK)=0
IF (K .EQ. 1) THEN
    IF (DOX .LT. 0.009 ) DOA(1)=0.92
    SNO2=SNO2+(4.*((FR*SNO2R-(OVER+FR)*SNO2)/VA+RSNO2)*DT
    SNO3=SNO3+(4.*((FR*SNO3R-(OVER+FR)*SNO3)/VA+RSNO3)*DT
    DOX=DOX+(4.*((OVER*DOI+FR*DOR+(OVER+FR)*(DOA(1)-DOX))/VA+
+
           RDOT)*DT
* OXYGEN ....
ENDIF

IF (K .EQ. 2) THEN
*SECOND CSTR DOX CONTROLLER
    IF (DOX .LT. 0.008 ) DOA(K)=0.92
ENDIF

IF (K .EQ. 3) THEN
*THIRD CSTR DOX CONTROLLER
    IF (DOX .LT. 0.008) DOA(K)=0.92
ENDIF

IF (K .EQ. 4) THEN
*FOURTH CSTR DOX CONTROLLER
    IF (DOX .LT. 0.007) DOA(K)=0.92
ENDIF

```

```

SNO2=SNO2+RSNO2*DT/(1.+4.*DT*(OVER+FR)/VA)
SNO3=SNO3+RSNO3*DT/(1.+4.*DT*(OVER+FR)/VA)
RDOH=(-(1.-Y1)/Y1*RXA*XAH*FS/(KFS+FS)-(1-Y2)*RXI*XAI)
RDON=(-3.4*RSNH4-1.1*RSNO3)
RDO=KLA*(0.008-DOX)
RDOT=RDOH+RDON+RDO
DOX=DOX+4.*RDO(K)*(OVER+FR)*DT/(VA+4*(OVER+FR)*DT)+  

+ RDOT*DT/(1+4*DT*(OVER+FR)/VA)
IF (DOX.LT.0) DOX=0.
DOR=DOX
RXNS=(UNSM-KDNS)*XNS
RXNB=(UNBM-KDNB)*XNB
IF (K .EQ. 1) THEN
    XNS=XNS+(4*(FR*XNSR-(OVER+FR)*XNS)/VA+RXNS)*DT
    XNB=XNB+(4*(FR*XNBR-(OVER+FR)*XNB)/VA+RXNB)*DT
ELSE
    XNS=XNS+RXNS*DT/(1+4*DT*(OVER+FR)/VA)
    XNB=XNB+RXNB*DT/(1+4*DT*(OVER+FR)/VA)
ENDIF
*END ACTIVE SLUGE TANK

120    CONTINUE

*****
* 2ND CLARIFY MAIN PROGRAM *
*****
Q=OVER
SCOUR=((1-Y1)/Y1)*(UM*(S/(KS+S)))+(KODES/Y1)*KD
FR=FRavg*Q*((SCOUR-SCOURP)*GAIN+1.)
TSS=XAH+XNS+XI
CO=TSS
*****
* 2nd clarify mass balance *
*****
U=U1+FR/2500.
FO=(Q+FR)-U*2500.
DO 80 J=1 , 20
    CC=9.
80    G(J)=CI(J)*V(CC)/1000.0
    IF (G(1) .GT. G(2)) THEN
        G1=G(2)
    ELSE
        G1=G(1)
    ENDIF
    C(1)=(DT/DZ)*((Q+FR)*CO/2500-CI(1)*U-G1)+CI(1)
    DO 90 J=2 , 19
        IF (G(J) .GT. G(J+1)) THEN
            M(J)=G(J+1)
        ELSE
            M(J)=G(J)
        ENDIF
90    C(J)=(DT/DZ)*(CI(J-1)*U+M(J-1)-CI(J)*U-M(J))+CI(J)
    C(20)=(DT/DZ)*(U*CI(19)+M(19)-U*CI(20))+CI(20)
    WRITE(*,200) I,DOX,S,C(20),TSS,FR
200    FORMAT(1X,'I= ',I3,1X,'DOX= ',E9.3,1X,'S=',E9.3  

+           ,1X,'C(20)= ',E9.3,1X,'TSS= ',E9.3,1X,'FR= ',E9.3)
    DO 100 K=1 , 2
        DO 100 J=1+(K-1)*10 , 10+(K-1)*10
            XE=4.5+8.6*TSS/2500
100    TSSOUT=XE/1000

```

```

IF (TSS .GT. 0) THEN
  PXS=XS/TSS
  PXA=XA/TSS
  PXI=XI/TSS
ENDIF
XSR=PXS*C(20)
XAR=PXA*C(20)
XIR=PXI*C(20)
TOT=TOT+(U*2500*C(20))*DT
DO 110 J=1 , 20
110 CI(J)=C(J)

* END 2ND CLARIFY
  THR=THR+DT
  IF(THR.GE.7.1) S=S+SPULSE
  IF(THR.GE.9.1) S=S-SPULSE
  IF(THR.GE.7.1) F=F+FPULSE
  IF(THR.GE.9.1) F=F-FPULSE
  WRITE(4,178)THR,S,C(20),TSS
  WRITE(2,179)THR,FR,DOX
178  format(1x,f8.3,12x,e10.5,12x,f9.4,12x,e10.5)
179  format(1x,f8.3,15x,f9.4,15x,e10.5)
  IF (THR .LE. 24) GOTO 50
  WRITE(*,*)"THE TOTAL WASTE AMOUNT FOR 24 HOURS: "
  WRITE(*,*)"TOT = ',TOT,' KG PER-DAY ,
  END

*****
* 2nd clarify settlcity eq'n   *
*****


FUNCTION V(C1)
C1=(C1/1420.)*1000.
V=SQRT(231.37/(0.521753e-7+0.834793e-2*C1-0.103521/10.*C1**2+
+ 0.419438/100.*C1**3))
RETURN
END

```