

Dynamics and Control of the
Activated Sludge Process

6

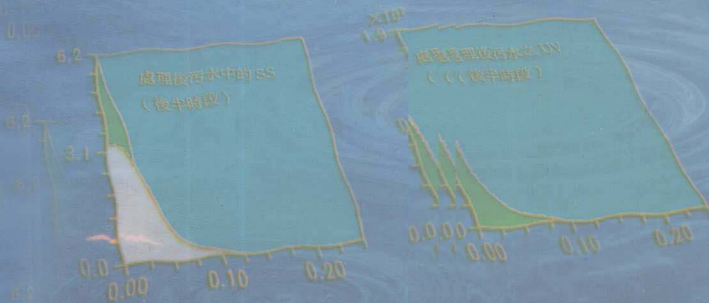
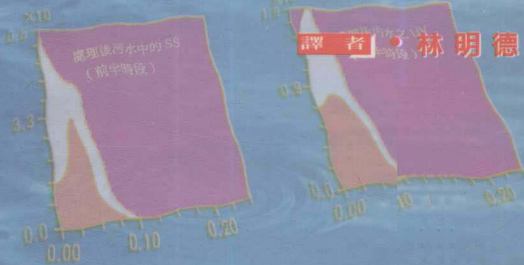
水質管理叢書

活性污泥處理程序之 動力學及控制



編者 • John F. Andrews

譯者 • 林明德



世界學術譯著

活性污泥處理程序之 動力學及控制

DYNAMICS AND CONTROL
OF THE ACTIVATED
SLUDGE PROCESS

John F. Andrews 編著

林 明 德 譯

國立編譯館主譯/出版
曉園出版社有限公司總經銷

活性污泥處理程序之 動力學及控制

Dynamics And Control Of Activated Sludge Process

原 編 者：John F. Andrews

譯 者：林明德

主 譯 者：國立編譯館

著作財產權人：國立編譯館

發 行 人：藍順德

出 版 者：國立編譯館

地 址：臺北市106舟山路二四七號

電 話：02 - 23626171

傳 真：02 - 23629256

總 經 銷：曉園出版社有限公司

地 址：臺北市新生南路三段96 - 3號

電 話：02 - 23676789

傳 真：02 - 23628429

劃 撥：10757344曉園出版社

中華民國八十九年六月初版

定價：新臺幣貳佰玖拾元整

ISBN 957 - 02 - 5743 - 1

前 言

在二十世紀末的前幾年中，世界的政治結構已發生戲劇性的變化，尤其是東歐與前蘇維埃社會主義聯邦的成員國。國際間環境保護意識的興起，卻也具有相同的戲劇性。其範圍涵蓋了由落伍的東方國家對於可怕的工業污染殘留物的警覺，到快速發展的西方先驅國家對於毒性物質的控制以及殘留污泥的管理。要應付如此巨大的環境挑戰，唯有靠全世界頂尖的環境工程師與科學家的才智，以及有效解決方案的設計與應用，才得以完成。

國際水污染研究與控制學會（International Association on Water Pollution Research and Control, IAWPRC）（現在已更名為國際水質協會，International Association on Water Quality, IAWQ）為一個足以處理這些全球性的挑戰之機構。IAWPRC 的主要任務為將基礎與實務研究的結果提供給國際間的專業人士與團體，並且應用此一資訊來開發水污染控制問題之創新、有效的解決技術。有關技術的轉移與研究的報告，都定期的發表於 IAWPRC 兩年一度的國際雙年會與專門研討會的論文集，以及下列的 IAWPRC 期刊之中：如 *Water Research*、*Water Science and Technology*，以及 *Water Quality International* 等。

學會在兩年一度的研討會中，提供了一個獨特的論壇給國際間的研究人員與專業人士，以討論日益複雜的環境問題之因應與解決之道。為了配合 IAWPRC 的任務，美國國家委員會（the United States of America National Committee, USANC）也籌組了八場專門課程（Specialty Courses）與在華盛頓特區（Washington, D. C.）舉辦的1992年 IAWPRC 雙年研討會聯合舉行。這些專門課程乃為實務工程人員而設計，內容涵蓋了環境品質管理、水污染控制、廢水處理、毒物減量，以及廢棄物管理

等重要議題。

水質管理叢書 (*Water Quality Management Library*) 之中的八冊書籍即是為該專門課程所準備的教材。來自美國以及其他許多國家的專家們貢獻了他們的專業知識與經驗，這些最先進的教材才得以完成。整體而言，這套叢書提供了水污染控制與水質管理方面的一個適當且合時的概論。它們也成爲一個能夠反映現代水污染科學與技術的國際專業與經驗的獨特參考來源。

W. Wesley Eckenfelder

Joseph F. Malina, Jr.

James W. Patterson

原序

廢水處理廠的本質是動態的，這是因為進流廢水的流量、濃度以及成份的變動所造成。如果處理廠想要以一個合理的成本來符合出流水質的要求，則這些變動在設計與操作時皆應列入考慮。舉凡動態建模、電腦模擬以及現代控制系統等，都是對於動態系統的設計與操作上有所幫助的工具。就「工具」的觀點而言，本書乃用以告知實務工程人員如何發展可以描述系統的動態行為之模式，以及如何利用電腦模擬來「求解」這些模式。同時也提及程序控制的基本原理，以便藉由電腦模擬來建立不同控制系統對於動態行為的效果。這些工具所要應用的程序乃活性污泥程序。相關的近期之研究與實務經驗的結果皆有所描述。本書同時也強調個人電腦的使用，因為軟、硬體的快速發展已導致平價、使用者親和式的電腦系統之普及，適合大、小型機構，乃至於工程人員個人之使用。

欲獲得有關廢水處理廠的動力機制與控制的進一步資訊，讀者可以查詢下列五個由國際水污染研究與控制學會（International Association on Water Pollution Research and Control, IAWPRC）（現在已更名為國際水質協會，International Association on Water Quality, IAWQ）所贊助的研習會之論文集：

- (1) “Instrumentation, Control, and Automation for Wastewater Treatment Systems,” (Andrews, J. F., R. Briggs, and S. H. Jenkins, eds.), *Progress in Water Technology*, 6, 570 p., Pergamon Press, Oxford (1974).
- (2) “Instrumentation and Control for Water and Wastewater Treat-

- ment and Transport Systems, ” (Andrews, J. F., R. Briggs, and S. H. Jenkins, eds.) , *Progress in Water Technology*, 9, Nrs. 5 - 6, 646 p., Pergamon Press, Oxford (1978) .
- (3) “ Practical Experiences of Control and Automation in Wastewater Treatment and Water Resources Management, ” *Progress in Water Technology*, 13, Nrs. 8 - 12, 645 p., Pergamon Press, Oxford (1985) .
- (4) “ Instrumentation and Control of Water and Wastewater Treatment and Transport Systems, ” (Drake, R. A. R., ed.) , *Advances in Water Pollution Control*, 748 p., Pergamon Press, Oxford (1985) .
- (5) “ Instrumentation and Control of Water and Wastewater Treatment and Transport Systems, ” (Briggs, R., ed.) , *Advances in Water Pollution Control*, 781 p., Pergamon Press, Oxford (1990) .

其中第一個研習會係於1973年在倫敦/巴黎所舉行，而後續的研習會之地點則分別為倫敦/斯德哥爾摩（1977），慕尼黑/羅馬（1981），休士頓/丹佛（1985），以及京都/橫濱（1990）。第六個研習會則預定於1993年在加拿大舉行。

本書承蒙主編的研究生、訪問學者，以及訪問教授的研究成果之貢獻才得以順利完成，主編謹在此誌謝。同時，一些與其他大學的專業同事、處理廠操作人員、顧問工程公司、設備製造商，以及政府機構等對於廢水處理廠動力機制與控制的討論，也提供了莫大的幫助。筆者在其研究生涯中也曾獲得許多機構的經費資助，在此特別舉出其最後的，No. CES-8704105，由國家科學基金會（National Science Foundation）所提供的贊助計劃的支持。

撰稿者

JOHN F. ANDREWS , PH.D. , P.E. Professor Emeritus, Rice University,
Houston, Texas, U.S.A.

MICHAEL W. BARNETT , PH.D. , Hydromantis, Inc. , Hamilton, Ontario,
Canada

DAVID T. CHAPMAN, PH.D. , P.E. , Environment Canada, Burlington, On-
tario, Canada

TAKESHI FUIIWARA, Master of Engineering, Kyoto University, Kyoto, Japan

MASAKATSU HIRAOKA, DR. , Professor, Kyoto University, Kyoto, Japan

GUSTAF OLSSON, PH.D. , docent, professor of Industrial Automation, Lund
Institute of Technology, Lund, Sweden

GILLES G. PATRY, PH.D. , Hydromantis, Inc. , Hamilton, Ontario, Canada

IMRE TAKÁCS, PH.D. , Hydromantis, Inc. , Hamilton, Ontario, Canada

KAZUSHI TSUMURA, Doctor of Engineering, Kyoto University, Kyoto, Japan

目 錄

譯序	(i)
前言	(iii)
原序	(v)
撰稿者	(vii)
第一章 簡介	1
設計與操作間的互動	1
活性污泥程序	6
動態模式	7
控制系統	21
電腦模擬	24
參考文獻	26
第二章 數學建模與電腦模擬	27
一些基本概念	28
要求的精確度	32
數學模式的分類	33
程序建模的方法	36
電腦模擬	46
範例	51
結論	77
參考文獻	80

第三章 程序控制	81
簡介	81
發展控制策略時常見的基本問題	81
控制所用的模式	85
控制迴路的範例	88
一些簡單的控制器	94
控制器的實際考慮因素	101
根據簡單控制器所組成的複雜控制結構	111
簡單的控制器在何時不適用	119
狀態與參數的估計	125
參考文獻	128
第四章 處理廠操作的統計數據	131
簡介	131
基本概念與定義	133
資料的描述	141
模式的建立	149
資料分析所用的軟體	159
結語	162
參考文獻	164
第五章 時間序列分析在階層控制系統上的使用	165
重要概念	165
SACCESS 套裝軟體簡介	170
模式的鑑定實驗	176

系統分析與模式評估	180
最佳控制系統的設計	193
引用文獻	204
參考文獻	204
第六章 日本大阪府川又處理廠的電腦輔助操作	205
簡介	205
川又廢水處理廠的架構：操作管理的架構	206
川又廢水處理廠的操作管理系統	209
AR 模式在最佳控制的應用	234
參考文獻	245
第七章 人工智慧技術在活性污泥程序設計、操作及控制上 的應用	247
簡介	247
人工智慧	248
AI 中的領域	249
程序工程中的 AI	251
搜尋	251
邏輯與演繹	255
專家系統，法則式系統與知識庫系統	256
知識品質	260
物件導向方法	265
推理策略	268
定性模擬	270

神經網路	271
結論	273
參考文獻	274
第八章 活性污泥程序的知識庫 (專家) 系統	277
簡介	277
設計與評估系統	278
操作支援與自動控制系統	280
未來的工作方向	285
結論	287
參考文獻	288
第九章 利用通用模擬器對大尺度廢水處理廠進行動態建模 與模擬	293
簡介	293
通用模擬器所具備的元素	293
更深入的探討 GPS	295
案例研究：漢彌頓—溫沃斯污水處理廠	310
結論	320
縮寫	322
參考文獻	323
索引	325

第一章 簡介

目前美國所需要的污水處理廠大部份不是已在使用就是正在建造當中，因此污水處理廠的焦點問題乃由設計及建造層面轉移至處理廠的操作層面。深入的了解這些處理廠的動態行爲（dynamic behavior），及研究如何使用控制系統把不盡如人意的動態行爲轉變為令人滿意者，將有助於解決處理廠的操作問題與降低操作成本。以「工具」的觀點來看，本書的設計乃是讓實務工程人員明瞭如何建立足以描述處理廠動態行爲的模式，以及如何利用電腦模擬來「求解」這些模式。而程序控制（process control）的基本原理在本書中亦有所闡述，以便使不同的控制系統對動態行爲的影響在電腦模擬中得以建立。本書將以大部份污水處理廠的「心臟」—活性污泥程序（activated sludge process），作為這些控制工具的應用範例。

設計與操作間的互動

雖然我們在此主要強調程序動力學的應用以及程序操作的控制，但是實際上程序設計（process design）與控制系統設計（control system design）兩者之間存在強烈的互動關係。圖1.1中比較了一個效能（performance）隨時間而變的程序於加裝控制系統「之前」與「之後」的差異，結果顯示程序設計與控制系統設計兩者皆會影響程序的效能。而在大部份的案例中，程序設計工程師往往將一個已完成設計的程序單元交給控制系統工程師，然後要求「針對這個單元設計一個控制系統吧！」或是詢問「加裝控制系統後，這個程序單元的規模可以縮減多少？」然而，較合宜的方式應是該兩位工程師共同構思「如何同時彙整控制系統

與程序設計，以整合得到最佳的程序單元」，因為它們都會影響程序的效能與成本，為求最大的效益起見，兩者應該進行整合。而要達到整合的目的，程序設計與控制系統工程師們必須學習彼此的專業術語，本書的目標之一即是協助程序設計工程師能夠更有效率地與控制系統工程師進行溝通。

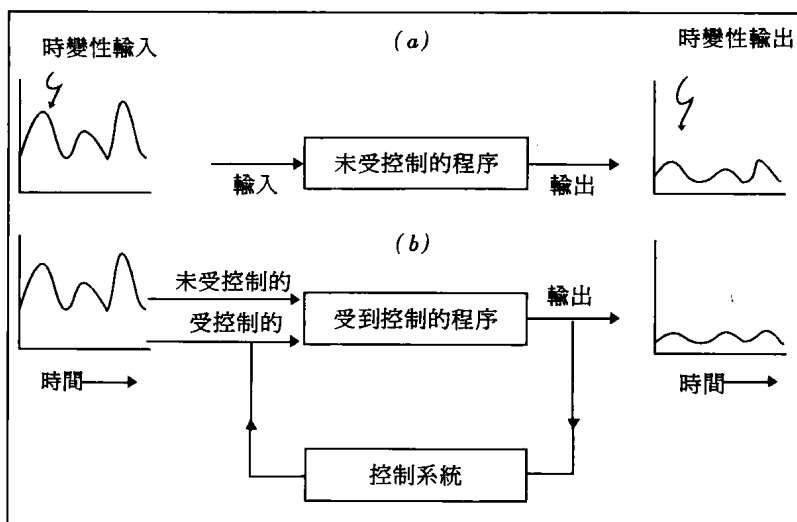


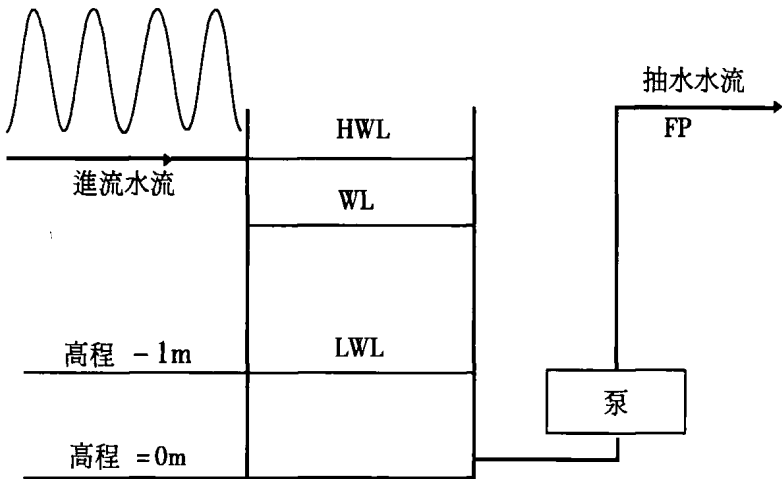
圖1.1 受控制與未受控制的程序之時變性 (time varying) 的輸入與輸出

抽水站 (pumping station) 中濕井 (wet wells) 及抽水機 (pump) 大小的決定與該抽水機控制系統的選擇，即為程序設計與控制系統設計間彼此互動的一個簡單例子。我們直覺地了解當我們使用一個有自動控制器 (控制系統設計)，且尺寸較大的抽水機 (抽水機的選擇) 時，所需的濕井尺寸可以縮小 (濕井設計)。然而吾人如何由此直覺決定出濕井及抽水機的特定尺寸並選定控制系統呢？例題1.1中即闡述了一個在個人電腦上，利用動態模式與由 Simmon [1] 語言寫成的電腦模擬程式

相結合，將「直覺」轉變為特定的數字。該結果顯示出濕井體積與抽水機容量之間的關係，同時也顯示了這些變數（濕井體積與抽水機容量）對攸關抽水機使用壽命及維護成本的抽水機開關次數之影響。

例題 1.1：廢水處理廠抽水站的機制模式（mechanistic model）

示意圖



機制模式

主要的模式簡化之假設以及模式的限制

- 正弦曲線 Y 式 (sinusoidal) 的進流流量
- 抽水機流量與濕井的水深無關

主要方程式

濕井中的水之質量平衡式

$$nWL = WL + k * (FW - FP) / AWW$$

水位控制器 (two-position controller)

nSW = 若 WL > HWL 則為 1 否則

若 WL < LWL 則為 0 否則為 SW

符號與單位

AWW = 濕井的截面積，m

FW = 進流流量，m³/h

FP = 抽水量，m³/h

HWL = 使抽水機啓動的高水位，m

k = 兩次運算之間的時間間隔，h

LWL = 使抽水機關閉的低水位，m

WL = 濕井中的水位，m

nSW = 抽水機的開關，0或1

Simmon 程式

DISCRETE SYSTEM pstal

*Pumping station for a wastewater treatment plant

STATE WL SW VFW

NEW nWL nSW nVFW

TIME t

TSAMP ts

ts = t + k *sampling time, h

k:0.01 *sampling interval, h

*Sinusoidal flow rate influent to wet well, FW, cu m/h

FW = rA + FC * SIN(W * t + P)

FA:100 *Average influent flow rate, cu m/h

FC:50 *Cyclic influent flow rate, cu m/h

W:0.2628 *Frequency, rad/h (one cycle/d)

p:-1.5708 *Phase shift, rad/h (lowest flow at n

*Wet well

nWL = n + k * (FW - FP) / AWW *rate of change in water level, m


```

AWW:25           Wet well cross-section area, sq m
WL:5.01         Initial wet well water level, m
Pump flow rate
FP=nSW*FPR
FPR:150         Rated capacity of pump, cu m/h
Control for turning pump on and off
nSW=IF WL>HWL THEN 1 ELSE IF WL<LWL THEN
0 ELSE SW
HWL:5.0         High water level set point, m
LWL:1.0         Low water level set point, m
END
    
```

曲型的模擬結果

