

# 嘉南藥理科技大學補助教師專題研究計畫成果報告

## 生活污水回收再利用技術與管理： 社區人工溼地之水力特性

計畫類別：個別型計畫      整合型計畫  
計畫編號：CHEM9302  
執行期間：93年1月1日至93年12月31日

總計畫主持人：廖志祥  
計畫主持人：錢紀銘

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

中華民國九十四年二月二十八日

# 嘉南藥理科技大學補助教師專題研究計畫成果報告

## 社區人工溼地之水力特性

### Hydraulic characteristics of constructed wetland for community wastewater

計畫編號：CNEM93-02

執行期限：93年1月1日至93年12月31日

主持人：錢紀銘 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

#### 一、中文摘要

本計畫對台南縣仁德鄉保安村二行社區人工溼地進行螢光染料追蹤劑實驗以探討其水力特性，由於該系統係以間歇性進水方式操作其追蹤劑濃度分佈與一般分佈型態不同，其濃度變化幅度較一般系統量測結果為大，同時，其停留時間分佈函數亦呈柱狀分佈，量測所得平均停留時間約為 259 hrs，小於正規停留時間 300 hrs，而其有效體積比約為 86%。另尖峰濃度發生時間約為 270 hrs，水力效率約為 0.7，顯示其水力特性狀況良好。

**關鍵詞：**水力特性、染料實驗、正規停留時間、停留時間分佈函數、平均停留時間

#### Abstract

In present study, a dye test was conducted to investigate the hydraulic characteristics of the constructed wetland located in Erh-Jen community, Tainan, Taiwan. The inflow was operated in an intermittent way. It increases the variation amplitude of dye concentration and changes the distribution pattern of residence time distribution function. The mean residence time measured was about 259 hrs and smaller than the normal residence time, 300 hrs. It results in a effective volume ratio of 86% and shows a accepted level of dead space. The time of the peak dye concentration is about 270 hrs. It indicates the hydraulic efficient is about 0.70. The hydraulic status of the constructed wetland is nearly well.

Keywords: hydraulic characteristic, dye test, normal residence time, residence time distribution function, mean residence time

#### 二、緣由與目的

政府為加速解決台灣地區之水污染問題，除推動各項污染防治與管制策略外，另針對鄉村偏遠地區亦推動污水生態處理工法，以符合經濟效益，依環保署(2005)自 93 年 1 月開始執行之「環境保護施政三年行動計畫」內所規劃之「河川流域污染減量計畫」預計推動「生態治河計畫」，以生態工法處理水體水質，落實環境保育之目的，處理截流水體除 91 及 92 年度所完成之朴子溪、二仁溪、將軍溪、淡水河系、南崁溪、烏溪、朴子溪、二仁溪、將軍溪、高屏溪、冬山河等水體所完成之 23 座淨水設施外，自 93 年度起陸續納入水體包括；高屏溪、南崁溪、二仁溪、將軍溪、淡水河系；94 年度增加南崁溪、鹽水溪、烏溪、北港溪、澎湖縣湖泊；95 年度鹽水溪、烏溪、朴子溪、淡水河系、二仁溪等，其中預計至 95 年度為止，以生態工法處理河川截流量累計達 18000 噸，預計完成 19 座淨水設施，其中有尤人工溼地法最為廣泛，92 及 93 年度人工溼地相關自然淨水設施規劃設置完成即有 16 座，由此可見該處理法業為環保署大力推動為下水道系統完成前水污染防治之替代方案之一。

根據Kadlec and Knight(1996)指出人工溼地處理系統具有省能源、低成本、無二次污染、操作維護簡單、不破壞生態等優點，本校人工溼地團隊之成就，業普受產官學界肯定，同時參與國內多處人工溼地之規劃與設置，其中發現國內有關人工溼地水力特性之研究頗為不足，為能進一步使國內人工溼地之發展更為完整，相關研究實有必要推展。

有關於人工溼地水力效能之相關研究；Shilton & Prasad(1996)曾對礫石床之人工溼地進行追蹤劑研究，發現傳統柱塞流之設計假設將造成處理效率之高估。King *et.al.*(1997)，亦對表面下流動式(subsurface flow, SSF)人工溼地進行追蹤劑研究，由於污染物之分佈部均勻致傳統單一參數柱塞流(plug flow)之假設無法圓滿解述實驗結果，為改善前述缺失，該研究另行發展多參數柱塞流模式(multiparameter model)。Persson *et.al.*(1999)及Persson(2000)對13種不同人工溼地佈置藉追蹤劑實驗及數值模擬進行水力效能之比較與評估，歸納水力效能較佳之平面佈置型態。

國內人工溼地相關文獻則包括；溫清光、陳鴻欽(1996)利用種植波拉草之河川高灘地處理受嚴重污染之天然排水，Jing *et.al.*(2001a)、Jing *et.al.*(2001b)、何茂賢等人(2002a)、何茂賢等人(2002b)及何茂賢(2003)以溼地系統處理受污染之二仁溪河水。工業廢水處理之應用則有林欣怡(2000)、郭文健等人(1996)建立充填礫石之SSF溼地處理養豬廢水三段式處理場之放流水，楊磊(1998)探討人工溼地進行高含氯有機物污染場址復育之研究。李志源等人(1997)於金門縣金湖污水廠建立種植蘆葦、香蒲、布袋蓮及浮萍之溼地系統以探討人工溼地三級處理生活污水之可行性，類似生活污水之相關研究亦可見於張立弘(2001)、李黃允(2001)、李得元等人(2002)、吳堅瑜(2003)。Lin *et.al.*(2002a)、Lin *et.al.*(2002c)則應用人工溼地處理養蝦之農業廢水。荊樹人等人(1997)利用小型規模人工溼地處理合成廢水以探討對水中營養鹽去除效能，Jing *et.al.*(2001b)亦有類似之研究。此外，人工溼地亦曾用於處理受污染之地下水，諸如Jing *et.al.*(2002b)。相關應用模式或統計模式則可見於郭振泰、楊州斌(2001)及洪國鑫(2002)之研究。

至於水力或水文條件對人工溼地物染降解效率之影響則較少論及，僅錢等人(2005)對國內兩種不同構型之人工溼地進行水力特性之實驗研究，尤其結果可知實驗用之人工溼地模廠反應器常因進水水溫高於溼地水體而形成漂浮流，由此造成不同之水力特效，由以上討論可知目前國內人工溼地之相關研究較少論及之水力特性，故為能更進一步瞭解國內人工溼地之現況，擬對本校人工溼地團隊輔導經年之二仁社區人工溼地進行水力特性進行研究調查，以評估其水力效能，以為後續設計及改善之參考。

### 三、實驗原理、佈置與分析

#### 3-1 人工溼地水力特性之理論探討

本文主要係利用追蹤劑實驗(tracer test)對人工溼地評估其水力特性，亦就是在人工溼地的入口處放入追蹤劑(tracer)，再在出口採取水樣分析追蹤劑濃度，配合流量數據計算水力特性參數；諸如由出口處濃度函數即可建立系統之停留時間分佈函數[residence time distribution function；RTD； $f(t)$ ]；

$$f(t) = \frac{Q \cdot C(t)}{\int Q \cdot C(t) dt} \dots\dots\dots (1)$$

首先此參數可用以評估系統之平均停留時間( $t_{mean}$ )，相關定義表示如下：

$$t_{mean} = \frac{\int_0^{\infty} t f(t) dt}{\int_0^{\infty} f(t) dt} \dots\dots\dots (2)$$

除前述  $t_{mean}$  外，中數停留時間(median detention time,  $t_{50}$ )亦可用於替代平均停留時間，惟二者僅於對稱型函數方可相等，當函數型態扭曲時則較不適用。近來另一可用於評量人工溼地水力特性之參數為水力效率(hydraulic efficiency； $\lambda$ ，Persson, *et.al.* 1999)；

$$\lambda = \frac{t_p}{t_n} \dots\dots\dots (3)$$

上式即為尖峰濃度發生時間( $t_p$ )與正規停留時間之比值，當 $\lambda > 0.75$ 時，表示系統之水力效率良好，而 $\lambda < 0.50$ 則為效率不良。本文將藉由不同人工溼地系統水力特性參數之量測探討二行社區人工溼地之水力特性。

### 3-2 二行社區人工溼地水力實驗之設備與佈置

本文之主要實驗場所為90年11月底完成，91年開始操作之台南縣二行社區人工溼地，其佔地面積約1,330 m<sup>2</sup>，由表面自由流動式（free water surface, FWS）及表面下流動式（subsurface flow, SSF）溼地所串聯，溼地後方連接放流水池與抽水池，其佈置如圖1所示，FWS 溼地渠道約佔地360 m<sup>2</sup>，系統呈S型渠道，渠道斷面呈梯形，總長104.5 m、上寬約3.45 m、底部寬約1.37 m、水深0.88 m的；底部覆土30 cm 並種植香蒲(*Typha orientalis Presl.*)及蘆葦(*Phragmites australis L.*)。至於SSF 溼地系統為矩形，長、寬各為14.4 m與5 m，其水深約1.18 m，其間佈置石頭並種植蘆葦。其後另置有放流水池作為放流水貯留之用。目前以間歇性進水操作方式，操作流量約為2.263m<sup>3</sup>/hrs，每日自上午八時操作至下午五時。

由於本文主要藉水中追蹤劑濃度之量測探討系統之水力特性，追蹤劑係採用螢光染料(Rhodamine WT)，主要乃因螢光之檢測反應濃度較低，稍許含量即可精確定量，所需注入系統之追蹤劑體積較少，可減少對系統於實驗時之干擾，提高量測結果之代表性。螢光染料於注入人工溼地前需以酒精密度校正，始可進行實驗，

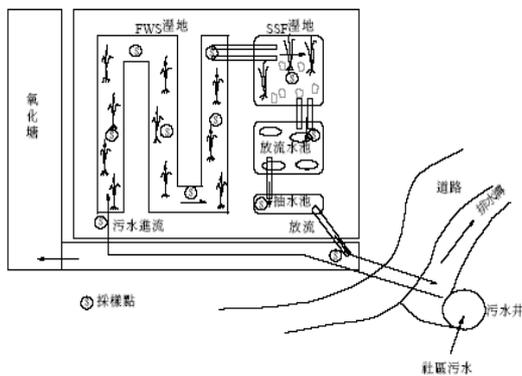


圖 1 二行社區人工溼地佈置圖

### 四、結果與討論

螢光染料進入人工溼地 A 後，其系統出口端之濃度變化歷程如圖 2 所示，由其結果可知，染料於注入溼地後，95hrs 即達出口端，尖峰濃度則於 270hrs 發生，小於該溼地之正規停留時間 ( $t_n = 300$  hrs)，由其曲線之變化亦可發現濃度有大幅變動現象，此應為間歇性啟動與停止操作程序引起流場不穩定現象所致。圖 3 為依追蹤劑濃度監測結果所得之停留時間分佈函數，由圖中結果可發現由於間歇操作所形成之柱狀分佈，與一般

常見函數分佈不同，另依式 2 計算其  $t_{mean}$  約為 259hrs，一般溼地由於無用空間、短流、密度成層等因素影響以致系統之平均停留時間常較正規停留時間為短，以往相關研究所得結論亦有類似結論，本文  $t_{mean}$  確實較  $t_n$  為小，其有效體積比為 86%，於 Persson(2000)之研究中，該類溼地佈置之有效體積比數值模擬結果為 100%，顯示該佈置應屬相當優良，其溼地之有效體積比雖略小於模擬值，惟仍顯示其無效空間比例仍屬可接受範圍。另亦可由式 3 計算其水力效率約為 0.7，雖略小於 0.75，應仍近於良好水力效率狀況。

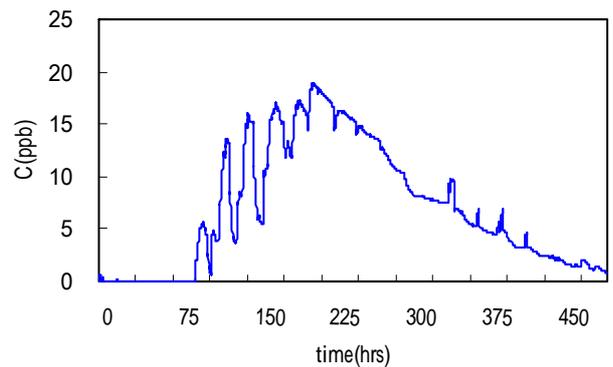


圖 2 二行社區人工溼地之追蹤劑實驗結果

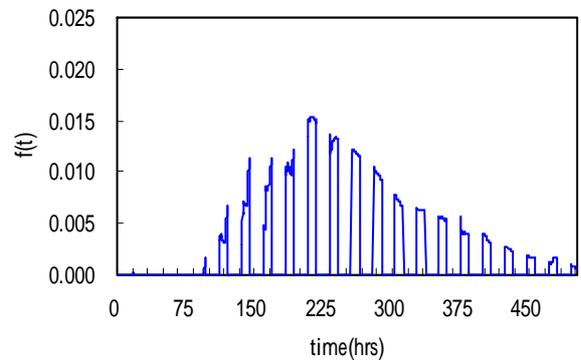


圖 2 追蹤劑停留時間分佈函數

### 五、計畫成果自評

本計畫對台南縣仁德鄉保安村二行社區人工溼地進行螢光染料追蹤劑實驗以探討其水力特性，由於該系統係以間歇性進水方式操作其追蹤劑濃度分佈與一般分佈型態不同，其濃度變化幅度較一般系統量測結果為大，同時，其停留時間分佈函數亦呈柱狀分佈，而其有效體積比約為 86%，水力效率約為 0.7，顯示其水力特性狀況良好。綜上述，可知螢光染料 Rhodamine WT 於人工溼地進行追蹤劑實驗，可成功量測其水力特性。

本計畫業完成原計畫申請時之執行目標且其成果亦頗具實用價值。

## 六、參考文獻

1. Lin, Angel Yu-Chen, Debroux, Jean-Francois, Cunningham, Jeffrey A., Reinhard, Martin "Comparison of Rhodamine WT and Bromide in the Determination of Hydraulics Characteristics of Constructed Wetland", *Ecological Engineering*, Vol.20, pp.75-88 (2003).
2. Kadlec, H.K. and Knight, R.L. *Treatment Wetlands*, CRC Press, Lewis Publishers (1996).
3. King, Andrew C., Mitchell, Cynthia A., Howes, Tony, "Hydraulic Tracer Studies in a Pilot Scale Subsurface Flow Constructed Wetland", *Wat. Sci. Tech.*, Vol.35, No.5, pp.189-196(1997).
4. Persson, J. "The Hydraulic Performance of Ponds of Various Layouts", *Urban Water*, Vol.2, pp.243-250(2000).
5. Persson, J., Somes, N. L. G., and Wong, T. H. F., "Hydraulics Efficiency of Constructed Wetland and Ponds", *Wat. Sci. Tech.*, Vol.40, No.3, pp.291-300(1999).
6. Rash, Jonathan K., and Leih, Sarah K. "Flow Pattern Analysis of Constructed Wetland Treating Landfill Leachate", *Wat. Sci. Tech.*, Vol.40, No.3, pp.309-315(1999).
7. Shlton, Andy N. and Presad, Julius N. "Tracer Studies of a Gravel Bed Wetland", *Wat. Sci. Tech.*, Vlo.34, No.3-4, pp.421-425(1996).
8. Ta, C.T. and Brignal, W. J. "Application of Computational Fluid Dynamics Technique to Storage Reservoir Studies", *Wat. Sci. Tech.*, Vol.37, No.2, pp.219-226(1998).
9. Thackston, E. L., Shields, Jr., F.D. and Schroeder, P.R. "Residence Time Distribution of Shallow Basins", *J. of Environ. Eng.*, Vol.113, No.6, pp.1319-1332(1987).
10. 溫清光、陳鴻欽(1996),自然淨化功能之強化—河川高灘地漫流處理法研究,國立成功大學環境中心。
11. 郭文健、陳瑞仁、楊磊(1996),小規模養豬戶零排放處理技術之研究,國立屏東科技大學環保系。
12. 荊樹人、林瑩峰、李得元、郭富雯、楊勝傑、黃再模(1997),水生植物對於污水中磷酸鹽去除效果的探討,嘉南學報,第二十三期,第1-12頁。
13. 李志源等人(1997),利用人工濕地三級處理生活污水,國立台灣海洋大學河海工程學系。
14. 楊磊(1998),人工濕地進行高含氮有機物污染場址復育之研究,國科會專題研究計劃報告,編號 NSC87-2211-E-110-003。
15. 林欣怡(2000),以礫石床人工溼地處理工業廢水之研究,國立中山大學海洋環境及工程學系碩士論文。
16. 李黃允(2001),以二階段人工濕地去除生活污水中之營養鹽,國立中山大學環境工程研究所碩士論文。
17. 郭振泰、楊州斌(2001),濕地水質及生態數學模式之發展與應用,台灣大學土木研究所, NSC89-2211-E-002-092。
18. 張立弘(2001),生活污水之溼地處理及再利用研究,國立屏東科技大學環境工程與科學系碩士論文。
19. 何茂賢、荊樹人、林瑩峰、李得元、黃子榜(2002a),表面流動式人工溼地處理污染性河水之營養鹽,第八屆海峽兩岸環境保護研討會論文。
20. 洪國鑫(2002),高水力負荷下溼地污染物模式分析,國立成功大學環境工程學系碩士論文。
21. 趙志強、何茂賢、陳璫琳(2002),人工溼地中蒸發散效應與廢污水處理效率之相關性,國科會編號 NSC 90-2815-C-041-003-E。
22. 李得元等人(2002),校園廢污水中有機物受溫度變化影響之探討,第七屆水資源再生及再利用研討會論文。
23. 何茂賢、荊樹人、林瑩峰、李得元、劉邵希、張弘昌(2002b),水力負荷對人工溼地去除污染河水中總懸浮固體之效能,第二十七屆廢水處理技術研討會論文。
24. 何茂賢(2003),以人工溼地系統處理受污染河水中營養鹽之探討,嘉南藥理科技大學環境工程衛生系碩士論文。
25. 吳堅瑜(2003),以實場人工溼地系統直接處理社區污水效能之研究,嘉南藥理科技大學環境工程衛生系碩士論文。
26. 錢紀銘、林健榮、何伊婷、王姿慧、黃士哲(2005),自由表面流人工溼地水力特性之探討,第廿九屆廢水處理技術研討會論文集,WW-F-03-13, pp.1-53。

