

# 水處理工程

原著者 Tom D. Reynolds

譯著者 黃 政 賢



曉 園 出 版 社

# 水處理工程

原著者 Tom D. Reynolds

譯著者 黃政賢

曉園出版社

版權所有·翻印必究

初 版

1989年二月第一次印刷發行

# 水處理工程

定價：新臺幣 300 元 港幣 90 元

原著者：Tom D. Reynolds

譯著者：黃 政 賢

發行人：黃 旭 政

發行所：曉 園 出 版 社 有 限 公 司

HSIAO-YUAN PUBLICATION COMPANY LIMITED

臺北市青田街7巷5號

電話：(02) 394-9931 (六線)

郵撥：1075734-4 號

臺大店：臺北市新生南路三段96號之三  
電話：(02) 3637012 · 3627375

重南店：臺北市重慶南路一段115號  
電話：(02) 3313360 · 3149580

工專店：臺北市新生南路一段6之9號  
電話：(02) 3968664

逢甲店：臺中市西屯區文華路113號  
電話：(04) 2512759 · 2546663

淡江店：臺北縣淡水鎮英專路71號  
電話：(02) 6217840

香港所：九龍又一村達之路30號地下後座  
電話：3-805807 3-805705

印刷所：復 大 印 刷 廠  
臺北市武成街36巷16弄15號

出版登記：局版臺業字第 1244 號

著作執照：臺內審字第 號

# 原 序

水處理工程為研究所或大學中環境工程必修之課程，本書除適合土木工程系所中，具備化學、數學、流體力學或曾修過環境工程概論等背景之同學研讀外，其他學門亦適合參考，如本書中水及廢水處理方法即是依據化學工程之原理發展而來的。

本書利用單元操作和程序之原理與技術，介紹當前水及廢水處理之各種方法；每章節之前，先予以討論各種操作與程序之基本原理，以建立工程設計之基礎，然後逐次介紹實際應用情形；幾乎所有章節中或之後均附有精闢例題，結合理論與實際應用，使讀者能快速吸收書中精華。

第一章緒論中，涵蓋有目前水、廢水，以及高級廢水處理中典型之處理流程；其餘各章節均個別獨立介紹，讀者無須連貫閱讀；老師於教學時，可依課程需要、學生程度，酌量選擇適合章節授課，例如可安排一個學期教授水處理，另一學期教授廢水處理；或者於一學期中，可選擇部份較重要之章節教授。有關水處理、廢水處理、高級廢水處理等章節與主題，可參考下表所述逐次研讀或教學：

## 水 處 理

章	主 題
16	攔污柵
2	混凝與膠凝
3	沉 澱
4	過 濾
6	吸 附
17	消 毒
7	離子交換
8	薄膜處理
15	固體操作

## 廢水處理

章	主 題
16	攔污柵、磨碎和砂粒去除
3	沉 澱
9	活性污泥
10	氧傳送與混合
11	滴濾池與旋轉生物圓盤
12	穩定池與曝氣氧化塘
17	消 毒
13	厭氧消化
14	好氧消化
15	固體操作

## 高級廢水處理

章	主 題
2	混凝與膠凝
3	沉 澱
5	氨氣提
4	過 濾
6	吸 附
8	薄膜處理
7	離子交換
5	以離子交換、折點加氯和生物方法進行氨之去除

授課老師亦可依基本處理原理：物理處理、化學處理及生物處理等加以區分授課，可參考下表所述：

## 物理處理

章	主 題
16	攔污柵、磨碎、砂粒去除和流量調勻
3	沉 澱
4	過 濾
5	氨去除
6	吸 附
8	透析與逆滲透
10	氧傳送與混合

## 化學處理

章	主 題
16	中 和
2	混凝與膠凝
7	離子交換
8	電 析
17	消 毒
5	以離子交換和折點加氯進行氨之去除

## 生物處理

章	主 題
9	活性污泥
11	滴濾池與旋轉生物圓盤
12	穩定池與曝氣氧化塘
13	厭氧消化
14	好氧消化
5	以硝化——脫硝法進行氨之去除

上述中固體操作（污泥處理）由於同時涉及物理和化學處理，可獨立出一個

主題授課之。

本書各章節順序之安排係以較常被應用之技術或方法擺在前面，較不常應用之技術或方法擺在後面，可做為授課時數多寡之取捨。建議授課時間以一學年，每週授課時數三小時為最佳。書後附有名詞釋義、涵蓋有關環境工程水及廢水中常用之專有名詞；附錄中尚包括常用單位之換算與轉換；化學原子序與原子量；水之一般特性；不同溫度、高程、壓力、塩濃度下之飽和溶氧濃度等，以利研讀過程查閱參考。雖然本書係以編成教科書為主，然其中設計準則亦適合實際工作之工程師參考，不少例題增加公制 (SI) 單位，更方便實際設計應用。

本書手稿承蒙 Dr. Dragoslav Mistic, California Polytechnic State University; Dean Earnest F. Gloyna, University of Texas at Austin; Dr. K. Keshavan, Worcester Polytechnic Institute; Dean E. Joe Middlebrooks, Utah State University; and Dr. Christopher Uchrin, Rutgers State University. 等專家學者覆閱及惠提意見，謹致由衷之謝忱。

Tom D. Reynolds

# 譯者序

水處理工程為環境工程領域中極為重要之學門之一，自發展以來，已有相當長遠悠久之歷史，技術也已臻於成熟階段，從事環境保護工作之人士或多或少都會有所涉獵。

近年來，我國由於急速工業化及都市化之發展結果，水污染問題日益嚴重，污染糾紛情事層出不窮，台灣西部幾條重要河川，幾乎無一能倖免於家庭污水及工業廢水之侵襲。值此國人亟於整治河川、湖泊、海洋等各種承受水體污染之際，如何降低污染物之質與量，使排入承受水體達最低程度，實為現階段污水處理上重要之目標，而水資源日益遭受破壞，如何使國人飲用水質獲得安全保障，工業用水水質符合要求，則為水處理上重要之目標。

本書原著書名為“Unit Operations and Processes in Environmental Engineering”，涵蓋有關給水與污水處理中各種單元程序與操作原理，兼具理論與實務，內容深入淺出；同時，該書亦為目前多所大專院校使用為教科書，因此，特選譯該書，以饗廣大讀者，並為我國環境保護工作之推展略盡微薄之力。

本書承余兄金源、林兄武煌、林兄景庸、黃兄國益、楊兄光賢、蔡小姐文婷及向小姐玉琴等熱誠多次校對，惠提意見，謹致由衷謝忱。本書雖經多次校對及多人審閱，些許疏忽在所難免，尚期見諒，並盼專家學者不吝指正是幸。

黃政賢

謹識於七十七年十二月

HWE/03/11



# 目 錄

## 第一章 緒 言 1

- 1.1 水處理廠 2
- 1.2 廢水處理廠 4
- 1.3 設計流量與水質參數 11

## 第二章 混凝與膠凝 15

- 2.1 混凝理論 16
  - 1. 膠體特性 17 / 2. 膠體之混凝(去穩定) 21
- 2.2 混凝劑 24
  - 1. 硫酸鋁 25 / 2. 硫酸亞鐵 26 / 3. 硫酸鐵 27 / 4. 氯化鐵 27 / 5. 石灰 28
- 2.3 助凝劑 28
- 2.4 瓶杯試驗 30
- 2.5 化學劑注入器 30
- 2.6 快混與膠凝 32
  - 1. 快混 34 / 2. 膠凝 44 / 3. 固體接觸單元 57
- 2.7 石灰蘇打灰軟化 59
- 2.8 水處理中之混凝與膠凝 64
- 2.9 廢水處理中之混凝與膠凝 65
- 參考資料 68
- 問 題 70

## 第三章 沈 澱 73

- 3.1 第 I 型沉降 74

3.2	第Ⅱ型沉降	86
3.3	第Ⅲ型和第Ⅳ型沉降	91
3.4	實際沉澱池	104
3.5	水處理廠中之沉澱作用	113
3.6	廢水處理廠中之沉澱作用	114
	1初級沉澱	115 / 2二級沉澱
		117 / 3.化學處理沉澱
		120
3.7	傾斜沉澱設施	121
	1.傾斜管沉降池	121 / 2.薄層分離池
		125
3.8	進流與出流水力學	125
	參考資料	131
	問題	132

#### 第四章 過濾 137

4.1	單層過濾池	138
	1.過濾水力學	151 / 2.膨脹濾床之水力學
		155 / 3.操作問題
		160
4.2	多層過濾池	161
	1.雙層過濾池	112 / 2.混合層過濾池
		162
4.3	過濾池之佈置、附屬設備及詳圖	164
4.4	水處理之過濾作用	169
4.5	廢水處理中之過濾作用	172
	1.二級放流水之過濾	174 / 2.經化學混凝後放
		流水之過濾
		175 / 3.經初級化學處理放流水或
		生廢水之過濾
		175
4.6	向上流過濾	175
4.7	其他過濾池	176
	參考資料	177
	問題	179

#### 第五章 氨之去除 183

5.1	物理性操作	183
-----	-------	-----

1.引導通風氣提塔	183	/	2.噴水池塘	191
5.2 化學方法	192			
1.折點加氯	192	/	2.離子交換	193
5.3 生物方法	193			
5.4 其他方法	196			
參考資料	196			
問 題	198			

## 第六章 吸 附 199

6.1 吸附作用	199			
6.2 管柱接觸技術及設備	203			
6.3 固定床吸附管柱	208			
1.全型放大法	210	/	2.動力學方法	215 / 3.
幾何形狀之考慮	218			
6.4 固定床吸附管柱串聯	219			
6.5 移動床逆流吸附管柱	219			
6.6 浮動床	222			
6.7 試驗管柱	222			
6.8 設計概念	222			
參考資料	224			
問 題	225			

## 第七章 離子交換 229

7.1 理 論	231			
7.2 接觸技術及設備	234			
7.3 設計程序	235			
7.4 軟化及去礦化	236			
7.5 設計概念	244			
參考資料	245			
問 題	247			

## 第八章 薄膜處理法 249

- 8.1 透析法 250
  - 1.理論 250 / 2.應用 251
- 8.2 電透析法 251
  - 1.理論 251 / 2.應用 255
- 8.3 逆滲透法 256
  - 1.理論 256 / 2.應用 262
- 參考資料 262
- 問題 264

## 第九章 活性污泥 267

- 9.1 微生物 271
  - 1.生長期 274 / 2.營養作用與呼吸作用 280 / 3.影響微生物活性之環境因素 281
- 9.2 反應槽之動力學與型式 283
- 9.3 生化反應動力學 289
- 9.4 食微比 (F/M) 與平均細胞停留時間 ( $\theta_c$ ) 297
- 9.5 束流反應槽與分散式束流反應槽 299
- 9.6 完全混合反應槽 305
- 9.7 其他改良式活性污泥法 310
  - 1.階梯曝氣法 311 / 2.修正曝氣法 311 / 3.接觸穩定或生物吸附法 312 / 4.延長曝氣法 313
- 9.8 純氧活性污泥法 320
- 9.9 溫度影響 320
- 9.10 其他動力學關係式 323
- 9.11 經驗關係式 330
- 9.12 反應池 332
- 9.13 生化方程式 334
- 9.14 污泥產生量 340
- 9.15 氧氣需要量 341

- 9.16 活性污泥係數 344
- 9.17 連續生物反應槽之速率常數與係數 350
- 9.18 操作問題 355
- 參考資料 358
- 問題 361

## 第十章 氧傳送與混合 371

- 10.1 氧傳送 371
- 10.2 混合 382
- 10.3 空氣壓縮器需要量 383
- 參考資料 384
- 問題 385

## 第十一章 滴濾池與旋轉生物盤 389

- 11.1 滴濾池 389
- 11.2 生物性過濾 392
- 11.3 滴濾池性能 392
  - 1. 動力學方程式 393 / 2. NRC 方程式 400
- 11.4 高率滴濾池廠流程 402
- 11.5 濾池之詳細構造 404
- 11.6 操作問題 405
- 11.7 旋轉式生物圓盤 406
- 參考資料 407
- 問題 408

## 第十二章 穩定池與曝氣氧化塘 411

- 12.1 穩定池 414
- 12.2 曝氣氧化塘 417
- 參考資料 422
- 問題 423

### 第十三章 厭氧消化 427

- 13.1 處理原理 429
- 13.2 低率消化槽 433
- 13.3 高率消化槽 438
- 13.4 二段式消化槽 440
- 13.5 消化槽之操作 441
- 13.6 消化槽體積 441
- 13.7 含水量——重量關係式 447
- 13.8 污泥量與固體濃度 448
- 13.9 消化槽所需之熱量 451
- 13.10 消化槽氣體之利用 454
- 13.11 乾污泥之肥料值 456
- 13.12 污泥之流體特性 456
- 13.13 污泥濃縮 459
- 13.14 污泥脫水 460
- 參考資料 461
- 問題 462

### 第十四章 好氧消化 467

- 14.1 好氧性生化反應方程式 469
- 14.2 好氧性生物氧化動力學 471
- 14.3 設計概念 474
- 14.4 濃縮——沉澱池 476
- 參考資料 484
- 問題 486

### 第十五章 固體操作 489

- 15.1 廢水處理廠污泥（有機性） 489
  - 1.濃縮 490 / 2.穩定 495 / 3.調理 497 /
  - 4.脫水 498 / 5.熱乾燥 515 / 5-1.焚化
  - 516 / 6.最終處置 518
- 15.2 廢水處理廠污泥（化學性） 519

- 1.石灰污泥 519 / 2.明礬污泥 520
- 15.3 水處理廠污泥 521
  - 1.排入衛生下水道 521 / 2.濃縮 521 / 3.調理 522 / 4.脫水 522 / 5.最終處置 523 /
  - 6.石灰或混凝劑回收 524
- 參考資料 525
- 問題 526

## 第十六章 其他單元操作與單元程序 531

- 16.1 水處理 531
  - 1.攔污柵 531 / 2.曝氣 531 / 3.氟化 533 / 4.脫氟 533
- 16.2 廢水處理 533
  - 1.攔污柵與磨碎 533 / 2.砂粒去除 538 / 3.流量調勻 539 / 4.水質調勻 543 / 5.中和 543 / 6.浮除 544 / 7.油分離 549 / 8.厭氧接觸法 549 / 9.沉水式厭氧過濾池 549 / 10.土地應用 550
- 參考資料 550
- 問題 551

## 第十七章 消毒 555

- 17.1 加氯消毒 559
  - 1.氯化反應 559 / 2.加氯量、需氯量和餘氯量 562 / 3.氯之應用 563
- 17.2 臭氧消毒 564
- 17.3 二氧化氯消毒 566
- 17.4 紫外線照射消毒 567
- 17.5 高 pH 值處理 569
- 參考資料 570

## 附錄 A 單位轉換與計算 574

附錄 B	以 $C^{12}$ 為基準之各元素相對原子量	577
附錄 C	水之密度與黏度	578
附錄 D	在大氣壓力 ( 760 mm 汞柱高 ) 及大氣中含有 20.9% 氧下，淡水與海水溶氧飽和值	579
名詞釋義		585
單數問題解答		625
索引		631



# 第一章 緒言

單元操作 ( unit operations ) 與程序 ( unit processes ) 應用在環境工程方面，可依其作用原理而區分為物理、化學及生物等處理方法。嚴格而言，單元操作是一種物理處理，單元程序則是一種化學或生物處理；然而單元操作和單元程序時常交互混合使用在水或廢水處理上。如沉澱、浮除和顆粒床過濾等屬於典型的單元操作；混凝、膠凝、碳吸附、離子交換、加氯消毒、活性污泥法、滴濾池、好氧消化和厭氧消化等則屬於典型的單元程序。很多單元操作和程序如混凝、膠凝和沉澱，其處理原理在水及廢水處理中為相似。我們常藉著研究這些單元操作或程序之原理，而實際應用在水和廢水處理操作中。目前有某些單元操作或原理在水和廢水處理上仍會受到使用上的限制，亦可藉著處理原理之探討，而獲得突破與解決。

水處理之程度一般依原水水質及欲達成之處理水質 ( 用途 ) 而定。相同的，廢水處理之程度亦依新鮮廢水水質及欲達成之放流水水質而定。由欲處理之程度可決定所需單元操作與程序之數目與型式。而欲達成之處理程度，在水處理及廢水處理上，尤其是後者，常須藉著許多單元操作及程序之流程組合。為了說明在處理廠設計上有關單元操作與單元程序之組合理由，底下特提出在水和廢水處理上最普遍使用之處理流程並簡易描述各單元操作與單元程序之處理原理。