

科技用書

廢水工程學

黃員成 校 溫清光、王友增 合譯

Wastewater Engineering

Metcalf & Eddy, Inc.

collection
treatment
disposal

(上)



科技用書

廢水工程學

黃員成 校 溫清光、王友增 合譯

Wastewater Engineering

Metcalf & Eddy, Inc. collection
treatment disposal (上)

大行出版社印行



中華民國七十一年二月 日二版

中華民國六十八年元月 日初版

書名：廢水工程學（上）

著作者：溫 清 光 譯

發行人：裴 振 九

出版者：大 行 出 版 社

社址：台南市體育路41巷26號

電話：6 1 3 6 8 5 號

本社免費郵政劃撥帳號南字第32936號

本社登記證字第：行政院新聞局

局版台業字第0395號

總經銷：成大書局有限公司

台南市體育路41巷26號

電話：6 5 1 9 1 6 號

特 價：平一七〇元精 二〇〇 元

編 號：B 0 0 0 1 3 - 0 0 4 8 9

同業友好・敬請愛護

原 序

在1914年與1915年間**Leonard Metcalf**與**Harrison P. Eddy**出版了三冊“**American Sewerage Practice**”後，又開始籌劃另一單冊，以做為工科學校的學生使用，此本教科書取名為“**Sewerage and Sewage Disposal**”，於1922年初版，1930年又再版。

許多現為環境工程事業的領導人，在學生時代曾讀過這本古老的教科書，但因廢水工程在過去四十年中有了很大的發展，而且人們更加瞭解單元操作和程序（**Unit Operations and Processes**）的基本原理，因此隨着學者和工程師們的需求，經過一番編排，最後才出版了這本新書。

本書的目標是由快速變遷和擴展的廢水工程領域中結合廣大的知識，並且使其成為學生的課本和工程師們的參考書。這本書的內容經許多大學教授和從事廢水工程之設計、建造、操作的工程師們提供資料和修訂，故有其精華之處。

本書材料依廢水的收集（**Collection**）、處理（**Treatment**）和處分（**Disposal**）順序編排。有關廢水收集系統的章節，特別介紹流體力學與水力工程之基本原理，這些原理是工程師們設計集水設施和抽水站所必需的！本章又特別強調市鎮和工廠廢水量之估計，至於水文學、施工材料及方法將不於本書介紹，可參閱其他書籍。

在廢水處理部份中有兩個主要研究方法，首先就是學生和實際從事工作的工程師們，在解決複雜工程問題之前先要廣泛研究廢水處理，如物理、化學和生物之原理，其次把這些原理應用到廢水處理設施之設計上。至於廢水處分最重要的主題在兩章中介紹，其中一章是討論廢水處理後廢物的處分方法，另外一章是討論廢水處分的方法。最後一章是討論處理工業廢水所遇到的問題，以及致力於處理廢水研究

本書把原理和實際相配合，使學生能把原理應用到實際問題上。本書適用於教師及大學部學生或研究所研究生。大學部學生當精研於前六章，才能了解廢水處理和處分之概念；而環境工程與衛生科學研究生當精研於第七章到第十六章，才能瞭解廢水處理和廢水處分等設施的原理、設計與操作。教師可依附錄 F 和附錄 G 取捨課程授課。又本書可依教師個別興趣和特殊情況的需要，而對大學部和研究所課程有所取捨。書中附有許多例題，容易使學生瞭解如何與實際工程相配合，每章最後還附有習題，可測驗學生瞭解的程度。

工程師可將此書做為複習 Metcalf 和 Eddy 所著的“Sewerage and Sewage Disposal”一書與其他書籍之用，並將發現本書中某些新原理，然後應用到廢水處理系統的構想和設計上。本書中附有「對照」與「主題附錄」，學生可以馬上找到自己要找的主題，另外還備可參考文獻，可供學生做進一步的研究，又尚有許多「表」和「結論數據」可供學生和工程師們獲得單元操作和程序適用的範圍。

本書係 Metcalf & Eddy 公司許多職員和顧問通力合作的成果，本公司總經理兼董事長 Harrison P. Eddy, Jr. 是這本書的發起人，他希望能有一本新書來接替 Metcalf 和他本人以前所編的書，於是他提供 Palo Alto 和 Boston 等分公司人員，合力來編著此書，而我是此工作負責人之一，負責本書的版式和書中材料的範圍，以及指導工作者完成此書。

本書主要作者和協調者是 George Tchobanoglous，他的助手有 Boston 分公司的 Allen J. Burdoin 和 John W. Raymond Jr.，以及 Palo Alto 分公司的 Olivia L. Chen，Roger T. Haug，Robert G. Smith，Vernon L. Snoeyink 和 James F. Stahl，又 Ronald W. Crites 負責習題部份和本書的副編輯，而 Marcella S. Tennant 是負責整個技術性之編輯。

提供文稿和教材者有：Stanford University 之 Perry L.

McCarty，本公司副總經理兼研究部主任的 Clair N. Sawyer，
他曾為MIT衛生工程教授，在此特予誌謝。

Rolf Eliassen

Senior Vice President

Metcalf & Eddy, Inc.

廢水工程學 (上册) 目 錄

第一章 廢水工程之發展趨勢 (*Developments and Trends in Wastewater Engineering*) ... 1

§1 廢水收集 (<i>Collection of Wastewater</i>)	1
1. 歷史背景	1
2. 現在的發展與趨勢	3
§2 廢水處理 (<i>Treatment of Wastewater</i>)	3
1. 背景	3
2. 現在的發展和趨勢	6
§3 處分 (<i>Disposal</i>)	8
1. 背景	8
2. 現在的發展和趨勢	9
3. 污泥和濃縮污染物的處分	9

第二章 污水量之估計 (*Determination of Sewage Flowrates*) 11 |

§1 下水道系統計劃 (<i>Comprehensive Sewerage Plans</i>)	11
1. 城市的發展	11
2. 現有的下水道系統設施	12
3. 設計標準	12
4. 對下水道系統的建議	13
5. 施行計劃	13
§2 人口研究 (<i>Population Studies</i>)	13
1. 資料的來源	13

2 目 錄

2. 人口分佈及密度	13
3. 人口的預測	15
§3 用水量 (Water Consumption)	22
1. 美國之用水量	22
2. 都市的用水量	24
3. 各種不同建築物的用水量	26
4. 用水量之變化	26
5. 公共給水流入下水道之比例	32
§4 污水流量 (Sewage Flowrates)	33
1. 污水來源	33
2. 污水流量之變化	35
§5 暴雨逕流量 (Storm Water Runoff)	40
§6 地下水之入滲 (Ground Water Infiltration)	40
1. 下水道之入滲量	40
2. 入滲設計允許量	42
3. 入滲和外滲之測定	43
第三章 下水道水力學 (<i>Hydraulics of Sewers</i>)	47
§1 流體力學之基本原理 (Fundamentals of Fluid Mechanics)	47
1. 各項名詞之定義	47
2. 連續方程式	50
3. 能量方程式	50
4. 動量方程式	53
§2 水流方程式 (Flow Equation)	55
1. Chezy 和 Darcy-Weisbach 方程式	55
2. Manning 方程式	59
3. Kutter 方程式	62

4. Hazen-Williams 方程式	62
5. 層流方程式	63
§3 管流和明渠流 (Pipe and Open Channel Flow)	64
1. 圓管滿流時	65
2. 斷面非滿流	66
3. 各種不同斷面之水力因素	70
4. 明渠中之水流	70
§4 非均勻流 (Nonuniform Flow)	72
1. 非均勻流之一般方程式	74
2. 漸變段和接合并	81
3. 曲線的加邊	83
§5 非摩擦的水頭損失 (Head Losses Other than Those Caused by Friction)	84
1. 速度水頭	84
2. 流入水頭	85
3. 斷面突然縮小	85
4. 斷面突然加大	85
5. 水 閘	85
6. 曲 道	86
§6 測量流量之方法 (Methods of Measuring Flowing Water)	86
1. 孔口計	87
2. 量水堰	88
3. 文特利水錶	91
4. 噴 嘴	93
5. 巴歇耳水槽	95
6. Palmer-Bowlus 水槽	96
7. 收縮用孔	97

4 目 錄

8. 加州管	97
9. 計算法	98
10. 化學追蹤劑和放射性追蹤劑	98
11. 磁流錶	99
12. 流速儀	100
13. Pitot 管	100
14. 浮標法	101
15. 染料追蹤劑	101
16. 電流法	101

第四章 下水道的設計 (*Design of Sewers*).....105

§1 衛生下水道 (*Sanitary Sewers*)105

1. 先期調查.....105
2. 設計的考慮要項.....107
3. 衛生下水道系統的設計.....112
4. 施工圖說 (*Contract Drawing*) 和規範的準備.....116

§2 合流式下水道和雨水下水道 (*Combined Sewers or Storm Sewers*).....118

1. 地圖和剖面圖.....118
2. 暴雨逕流量.....118
3. 合流式下水道或雨水下水道的設計.....120
4. 低流量情況下的合流式下水道.....125

第五章 下水道附屬設施及其特殊結構物

(*Sewers Appurtenances and Special Structures*)128

§1 人 孔 (*Manholes*)129

1. 跌落入水口.....131

2. 人孔階梯	132
3. 人孔構架和覆蓋	132
§2 街道進水口 (Street Inlets)	136
1. 預鑄進水口	137
2. 進水口之型式	137
3. 進水口之水力學	139
§3 沈砂井 (Catch Basins)	146
§4 沖洗裝置 (Flushing Devices)	147
§5 建築物接管 (Building Connections)	147
§6 特殊結構物 (Special Structures)	148
§7 會合管 (Sewer Junctions)	150
§8 倒虹吸管 (Inverted Siphons)	150
§9 調節流量設備 (Regulating Devices)	156
§10 溢 流 (Overflows)	157
1. 側 堰	157
2. 隔板側堰	166
3. 橫 堰	166
4. 跳 堰	167
5. 虹吸溢流管	168
6. 固定孔口分水結構物	169
§11 放流口 (Outlets)	170
§12 防潮門 (Tide Gates)	171
§13 通風及排氣設備 (Ventilation and Air Relief)	171
第六章 抽水機和抽水站 (Pumps and Pumping Stations)	174
§1 抽水機 (Pump)	174
1. 離心式抽水機	174

6 目 錄

2. 變位抽水機	178
3. 抽水機操作之特性	178
4. 抽水機的構造	182
5. 特殊抽水機	183
§ 2 抽水機的動力單元 (Pump Drive Units)	185
1. 馬 達	185
§ 3 污水抽水機之選擇 (Sewage Pump Selection)	187
1. 設計流量的決定	187
2. 選擇抽水機一般的考慮因素	188
3. 系統分析	188
§ 4 抽水站 (Pumping Station)	192
1. 抽水站的型式	193
2. 抽水站之細部設計	198
3. 壓力幹管之細部設計	207

第七章 廢水的性質 (*Wastewater Characteristics*)

216

§ 1 廢水分析 (Wastewater Analysis)	216
1. 分析結果的表示	218
2. 組 成	218
3. 污水之流量及強度變化	222
§ 2 物理性質：定義及應用 (Physical Characteristics : Definition and Application)	223
1. 總固體物	223
2. 溫 度	226
3. 色 度	226
4. 臭 味	227

§3 化學性質：定義和應用 (Chemical Characteristics : Definition and Application)	227
1. 有機物質.....	227
2. 有機成份的量度.....	230
3. 無機物質.....	244
4. 氣 體.....	251
§4 生物性質：定義和應用 (Biological Characteristics : Definition and Application)	252
1. 微生物.....	252
2. 大腸菌類.....	254
3. 生物試驗.....	256
第八章 物理單元操作 (Physical Unit Operation)	262
§1 篩除作用 (Screening)	263
1. 欄 柵.....	263
2. 細 篩.....	265
§2 混 合 (Mixing)	266
1. 攪拌器之型式.....	266
2. 原 理.....	267
3. 分 析.....	269
§3 膠 凝 Flocculation)	269
§4 沈 澱 (Sedimentation)	272
1. 第1型沈澱.....	272
2. 第2型沈澱.....	278
3. 層沈澱和壓密沈澱.....	280
4. 冲刷流速.....	284
§5 浮除法 (Flotation)	285

8 目 錄

1. 浮除法之種類	285
2. 化學添加劑	287
3. 分 析	287
§6 水 洗 (Elutriation)	291
1. 單段式	291
2. 多段式	292
§7 真空過濾 (Vacuum Filtration)	294
1. 原 理	295
2. 分 析	297
§8 熱傳導作用 (Heat Transfer)	299
1. 原 理	299
2. 分 析	303
§9 乾 燥 (Drying)	306
1. 原 理	306
2. 瞬間乾燥	307
3. 旋轉乾燥器	307
4. 多爐床式焚化爐	309

第九章 化學單元程序 (*Chemical Unit Processes*)

..... 314

§1 反應動力學 (Reaction Kinetics)	314
1. 反應階層	314
2. 溫度之影響	316
§2 化學沈澱 (Chemical Precipitation)	318
1. 化學藥品	318
2. 化學反應 (簡化)	319
3. 磷酸鹽之去除反應 (簡化的)	323
4. 化學沈澱物的作用	325

§3 氣體傳送 (Gas Transfer)	329
1. 原 理.....	331
2. 分 析.....	333
§4 吸 附 (Adsorption).....	335
1. 原 理.....	335
2. 分 析.....	339
§5 消 毒 (Disinfection).....	342
1. 藥劑和方法.....	342
2. 影響消毒劑作用的因素.....	344
3. 加氯消毒.....	349
§6 燃 燒 (Combustion)	353
1. 乾燥燃燒.....	353
2. 濕式氧化程序.....	358
索引：(中英對照)	362

第一章 廢水工程之發展與趨勢

(Developments and Trends in Wastewater Engineering)

目前廢水工程正處於發展階段，舊的觀念被重估而新的概念也逐漸形成，故工程師需瞭解廢水工程之各種基本原理，包括廢水之收集（Collection）、處理（Treatment）和處分（Disposal）。本章就是介紹這些主題，並簡述其歷史背景，近年發展以及將來趨勢。

§ 1. 廢水收集 (*Collection of Wastewater*)

廢水收集設施之計劃和設計包括：決定廢水流量，污水管（Sewer）、大溝渠、匯流井和分水井等之水力設計，適當的污水管附屬設備之選用，抽水站之設計。這些項目將於第二章到第六章中討論。

1. 歷史背景 (*Background*)

在文獻中所記載的早期下水道，最為人熟悉的是古羅馬地下大排水溝〔1〕。依早期資料記載，家庭污水管並不與屋外的渠道直接相連結，因大家對公共健康問題不重視，而且強制各家設立衛生設備，視為侵害個人權利。根據此慣例，世界各地早期的下水道皆用來排除雨水。直到1815年的倫敦下水道才開始收容人類之排泄物，於波士頓為1833年，而巴黎則晚至1880年。

雖然在古羅馬已有地下大排水溝，但其後污水收集設備的設計和建造並無顯著的發展創新，這種情勢一直延展到1840年代，直到1842年德國漢堡發生一場大火，燒燬了城市的某部份，於是首次根

2 廢水工程學（上）

據當時有關污水輸送的最新理論，以及考慮地形和城市的需求，設計出一新而完整的污水系統來〔3〕。這次設計所依據的基本原理至今仍被沿用，然而在那時以前並未廣泛採用，故這次的進展頗為壯觀。

- (1) 倫敦下水道：倫敦在1845年以前尚無充分的都市調查資料做為污水系統計劃之依據。以至於鄰近教區的下水道因高程不同而無法銜接，下水道比糞坑還高，有的下水道無論怎麼使用均會倒流，而有的大下水道反而排至小下水道。污水往高處流，又大的下水道反而排放污水到小的下水道，這些皆不合實際。

繼1832年倫敦的眞性霍亂流行後，1848年又流行霍亂，其後6年中共有25,000多人受害，雖然受污染的飲水水中所含的污染物與傳染病迅速擴展有關，但大部份住家缺少家庭下水道所引起的不潔環境，卻成了消滅霍亂很大的阻力。直到1855年議會授權供給大都會計劃部門更多資金後，即刻着手發展足夠的污水收集系統。

- (2) 美國下水道：關於美國早期污水收集之情況不甚清楚，通常係由私人或當地居民出錢建造，而政府很少甚至沒有派人來監督。這個國家與其他地方一樣，早期的污水下水道均建得不必要的龐大，例如在Brooklyn早期的下水道，其排水面積不超過20英畝（acre），而下水道坡度1:36，斷面5呎寬，4呎深。有時候，不但下水道之出口很大，甚至整個水道從頭到尾均如此，以至於除非大坡度，否則不可能獲得足夠的流速，而且有些下水道因淤積的固體物分解，造成令人不悅之臭味，另外還有些下水道坡度設置相反，造成污水倒流。

雖然如前所述控制污水流動的基本原理早在1840年代就為人所知曉〔8〕，但應用到下水道的設計是逐漸演變而成的，許多的公式至今仍沿用，但其原理和限制則較以往更瞭解。