

污水處理

顧康樂著

中國科學圖書儀器公司
出版

污 水 處 理

顧 康 樂 著

中 國 科 學 圖 書 儀 器 公 司

出 版

引 言

隨着城市建設的發展，爲了保持市民的公共健康，衛生工程是一項必要的設施。現代城市的最大需要是自來水，第二最重要的需要是廢物的除去，特別是含有糞便的廢料。衛生工程師對城市的服務是養護大衆生活所必需的，而比較其它工程或任何其它事業更加直接有利於人類。水廁設備在清潔的城市生活中實不可缺少。連帶的問題就是怎樣處理與處置污水。

著者於1933年寫了溝渠工程學一書，只有關於溝渠的設計和施工方面的論述。這本污水處理可說是前者的續編。寫作時候的主要參攷是德國殷哈夫氏的英文著作，結合了各國和上海的資料。這書企圖包含關於解決污水問題的基本原理和現代實踐；它可用作大學教本或工程師及公共衛生人員的參攷。

這書經過唐山交通大學衛生工程學教授顧夏聲校閱初稿，相與交流經驗，研討修正，敬此致謝。不過，缺陷和偏向恐是難免，希望讀者多予批評和指教。

1951年8月

顧康樂，上海。

目次

第一章 污水的特性	1
1. 豪雨污水	1
2. 衛生污水	1
3. 物理的特性	2
4. 化學的特性	2
5. 腐爛的循環	4
6. 污水的生物學	6
7. 污水分解的生物化學	6
8. 物理的試驗	7
9. 污水固體的試驗	8
10. 化學的試驗	9
11. 生化需氧量	12
12. 相對安定度	17
13. 試驗的重要性	18
14. 採取試料的方法	19
15. 人口當量	20
第二章 污水的處理	22
16. 處理的意義	22
17. 處理的目的	22
18. 一般原則	23
19. 處理和處置的方法	25
20. 污水廠的位置	27
21. 污水處理的效率	28
22. 其它廢料的處理	29
第三章 污水的處置	30
23. 處置方法	30
24. 稀釋法	30
25. 容許的玷污	31
26. 初步研究	32
27. 溝渠出口	32
28. 魚類及浴場的保護	33
29. 河流的自己淨化	34
30. 玷污的帶區	36
31. 湖泊的自己淨化	37
32. 自己淨化的指數	37
33. 稀釋水的數量	38
34. 氧平衡	39
35. 消氧和再充氧	40
36. 再曝氣	42

37. 例題.....	43	41. 池沼法.....	47
38. 灌溉或種植.....	44	42. 魚和水禽.....	48
39. 灌溉的準備和實踐.....	44	43. 衛生學方面.....	48
40. 收穫.....	46		
第四章 簾格和撇除.....		50	
44. 簾格法.....	50	46. 殘物的搬移和處置.....	54
45. 簾格.....	52	47. 油脂的撇除.....	55
第五章 沈澱法.....		57	
48. 定義.....	57	53. 最初沈澱池.....	63
49. 沈澱法原理.....	57	54. 入口和出口設備.....	64
50. 雜粒池.....	59	55. 出清設備.....	65
51. 比例流量的堰.....	61	56. 豪雨水池.....	66
52. 單純沈澱池.....	61		
第六章 化學處理.....		67	
57. 方法.....	67	降池.....	71
58. 化學劑.....	67	61. 氯化法.....	73
59. 化學劑的搬運貯藏和投配.....	70	62. 氯的數量.....	73
60. 混和反應(絨集)和沈.....		63. 施加方法.....	74
		64. 污水臭的防止.....	74
第七章 腐化池和隱化池.....		76	
65. 腐化池.....	76	68. 消化室.....	79
66. 設計要點.....	76	69. 設計細目.....	79
67. 隱化池.....	77	70. 隱化池的運用.....	80
第八章 污水過濾.....		82	
71. 原理.....	82	73. 接觸曝氣器.....	83
72. 接觸床.....	83	74. 間歇砂濾池.....	85

75. 濾池的暗渠和分佈系統	86	78. 參加生物的處理的有機體	89
76. 砂濾池的運用	88		
77. 初步和最後處理	89		
第九章 灑滴池		91	
79. 概說	91	85. 移動的噴灑	99
80. 過濾和負荷的率	92	86. 暗渠排水系統	100
81. 濾床材料和深度	92	87. 最後沈澱池	102
82. 污水的分佈, 固定管嘴	93	88. 灑滴池的用途	102
83. 管嘴系統的設計	96	89. 高率灑滴池	102
84. 雙交互的虹吸	98		
第十章 活性污泥法		105	
90. 方法	105	97. 機力曝氣	113
91. 優點和缺點	106	98. 污泥的反循環	115
92. 初步處理	107	99. 變更了的方法	117
93. 曝氣	108	100. 最後沈澱	117
94. 空氣擴散法	108	101. 剩餘污泥	118
95. 空氣量	110	102. 活性損失和膨脹	119
96. 空氣擴散器	112		
第十一章 污泥消化		121	
103. 污泥消化的方法	121	111. 加熱	129
104. 影響消化的情況	122	112. 熟的要求	130
105. 消化的溫度	122	113. 活性碳和石灰的應用	132
106. 消化的週期	122	114. 氣的收集和分配	132
107. 播種和攪和	123	115. 意外危險和控制	135
108. 分期消化	124	116. 氣的利用	135
109. 池內情況	125	117. 上層液	136
110. 消化池設計	125		

第十二章 污泥乾化..... 137

- | | | | |
|-----------------|-----|-----------------|-----|
| 118. 污泥處理..... | 137 | 122. 乾化的作用..... | 142 |
| 119. 凝集..... | 137 | 123. 污泥濾機..... | 143 |
| 120. 淘分..... | 138 | 124. 烘乾和焚化..... | 144 |
| 121. 污泥乾化床..... | 139 | | |

第十三章 污泥的利用和處置..... 146

- | | | | |
|--------------------|-----|----------------|-----|
| 125. 污泥問題..... | 146 | 130. 量污泥..... | 149 |
| 126. 肥沃價值..... | 146 | 131. 入水處置..... | 150 |
| 127. 污泥產量..... | 147 | 132. 池沼法..... | 150 |
| 128. 污泥品質..... | 148 | 133. 埋葬..... | 151 |
| 129. 體積和重量的變化..... | 149 | | |

第十四章 污水和廢水在未設溝渠地方..... 152

- | | | | |
|------------------|-----|----------------------------|-----|
| 134. 坑廁..... | 152 | 139. 和家屋污水合併處置..... | 157 |
| 135. 滲漏糞池..... | 154 | 140. 製造方法和廢水放洩的
控制..... | 157 |
| 136. 化糞池..... | 154 | 141. 工業廢水的成分..... | 158 |
| 137. 地下灌溉..... | 155 | 142. 簡單處理方法..... | 160 |
| 138. 工業廢水問題..... | 156 | | |

第十五章 工業廢水..... 162

- | | | | |
|-----------------|-----|-------------------|-----|
| 143. 概說..... | 162 | 149. 紡織工業..... | 167 |
| 144. 廢水調查..... | 163 | 150. 洗衣作..... | 168 |
| 145. 宰牲廠..... | 164 | 151. 造紙工業..... | 168 |
| 146. 牛乳廠..... | 164 | 152. 鞣皮工業..... | 169 |
| 147. 蔬果罐頭廠..... | 165 | 153. 煤氣廠..... | 169 |
| 148. 釀造工業..... | 165 | 154. 金屬加工的廢水..... | 170 |

附 錄..... 174

單位換算表..... 178

第一章

污水的特性

1. 豪雨污水 豪雨污水是雨水挾帶了由街道和屋面洗下的東西，像泥土，馬糞，紙，木塊和其它雜質。爲了街道路面改良，馬匹用途少見，和街道清掃週到，路邊進水口廣用截留井而時常加以清撈等緣故，這樣物質的數量已見減少。在另一方面，汽車用的油類，建築用的砂礫，和修路用的石屑等增加了雜質數量。

在一定的溝渠系統內，到達出口的懸游物質數量在一年中間變動很大。小雨只帶了較輕雜物至溝渠出口而留存較重的於緩坡的溝渠中；大雨時將溝渠中的遺留物移出，並自街道中帶進較多的雜物。鏟除路面積雪而放置於溝渠中也能帶進街道積存的污穢。

豪雨水所帶的固體中可有百分之5至25是有機性，約合0.5至12立方呎每百萬加侖的雨水。這種固體很多不是急速地腐化的，大多數可用沉澱法除去，並自衛生觀點而言，一般地沒有多大妨礙；不過放洩到河流或湖泊中可以形成有害的沉澱物。

2. 衛生活污水 衛生活污水含水在百分之99以上，大多數約百分之99.9。這水量約等於居戶和工業的用水。

除家屋污水（包括水廁，廚房，和洗濯等廢水）與人口成比例外，工業廢水與工業的本質和規模有關，而商業廢水常爲少量。這些都是衛生活污水的成分。家屋污水包含着糞便，油脂，肥皂，菜屑，廚

房和洗濯遺下的棉絲和污穢，紙張，及其它零星小物。

工業廢水的量可等於零至數倍於家屋污水。這種廢水可由任何種類的酸，鹼，或有機物質組成，例如金屬工業放洩酸類，洗羊毛工業放洩油脂，紙廠放洩鹼類，布廠和絲廠放洩用過的染料，煤氣廠放洩柏油等等。

商業區的商店和大廈在營業時間內集中很多的人口，有些較大城市有幾十層的高樓。那裏的污水在品質上比較地接近家屋污水。

3. 物理的特性 污水含水雖是很多，不過其中少量的懸游的和溶解的物質具有高度重要性的變態。新鮮的居家污水微有肥皂或油脂氣味，外觀渾，似肥皂溶液之色，可看見紙片，糞塊，火柴梗，破布，果殼等雜物。宿化的污水有硫化氫的特臭，其中懸游顆粒較小，顏色較深。溫度正常的污水在溝渠中間經過二小時後發現宿化的效應，而在 6 小時後便顯著了。但如溫度低或污水弱，宿化的特性就發現得較緩或是不覺得。

污水的濃度尤大，其臭味和渾濁尤著。濃度可作強弱度解釋，較強的污水含有容易腐敗的物質成分尤多。污水的強弱憑靠每口的水量消費與工業廢水的數量。顯然地，每人每天所貢獻的固體大致是常數，但多量用水致成高度稀釋和弱性污水。強烈的工業廢水的巨量產生將使污水含有濃集的有機物質。

4. 化學的特性 污水含有無機性化合物，來自給水和許多複雜的有機性材料，來自大小便和流入溝渠的其它廢水（第 1 表）。新

鮮的污水正常是鹼性，不過在宿化中漸趨酸性。完全的處理重複把它回復鹼度。污水中的有機物能分作含氮與非含氮兩種化合物。主要的含氮化合物是尿素，蛋白質，胺，和胺酸。主要的非含氮化合物是脂肪，肥皂，及碳水化合物。工業廢水在污水中可增加非常的化學成分。

第 1 表 污水中固體數量的參考數字

組 成	每 口 每 天 的 克 數	
	分 項	總 計
自來水和地下水，假定為軟水	12.7	
大便	20.5	
小便	43.3	
紙	20.0	
面缸，浴缸，洗衣，廚房廢水等	86.5	
分流溝渠系統家屬污水所含總量		183.0
工業廢水	200.0	
工業城市分流溝渠系統所含總量		383.0
豪雨水	25.0	
工業城市合流溝渠系統所含總量		408.0

衛生工程師不很關心於污水中許多物質的比例。因此，污水的化學分析不是完全的檢驗，而僅包括那些對於它的強弱，產生妨礙的可能，或處理的改善問題等有相當意義的試驗。在污水處理以前及以後的比較試驗不僅發現處理的效率並且在控制污水廠的運用上是必需的。

據國外專家的估計，每人每日排洩物含有約 0.024 磅的氮，0.136 磅的總固體，0.015 磅的磷酸，0.035 磅的氯，排洩物是幾乎全部有機性，它的腐化是發生妨礙的主要原由。

化合成硫酸鹽，磷酸鹽等。

氮循環(第 1 圖)顯示活的有機體死亡後或其排洩物所含複雜的有機含氮物質經過的步驟。這類有機物質無論是在水中，如污水或他處，首先被嫌氣菌(anaerobic bacteria)起作用而造成氨。若氧的供給緩慢，此舉將延長時間，隨有不良臭氣。嫌氣的時期稱作腐化。如可獲得自由氧，需氣菌(aerobic bacteria)參與氧化工作，把氨的化合物氧化為亞硝酸鹽，再進到硝酸鹽。硝酸鹽是安定的，不再變化。它們也作植物的食品，化生為植物蛋白質。當植物死了，蛋白質又開始腐爛循環或被動物所食而形成動物蛋白質，再排泄如廢料或在死後分解。硝酸鹽可被某種細菌所分裂而形成自由氮，稱作反硝化；這將致成植物食品的嚴重損失，但是也有某種細菌可取自由氮以形成硝酸鹽而仍供植物食品。

其它的循環沒有這樣複雜。有機性含硫化合物在嫌氣菌情況中先分裂而形成硫化氫和其它更惡臭的化合物。如果有了自由氧，含硫化合物將被氧化為安定的硫酸鹽，不再發生臭氣。植物和動物生活在自然界中的活動完成硫的循環。

第三種是碳循環。有機物質的含碳材料被發酵所分裂為二氧化碳。這可被植物所用而成碳水化合物，像澱粉，糖等，在其過程中放釋自由氧。

上述各種循環對污水的處理與處置具有價值，因為(a)它解釋河流的自己淨化方式；(b)它顯出在污水處理中欲得安定及無臭的產物所需完成的工作；(c)在水或污水的檢驗方面，對分解產物作化學分析，可確定水或污水趨向安定化的進度。例如，良好處理的污水含硝酸鹽多而氨及硫化氫少，這指示腐爛循環已向完全氧化和

安定性作了很大進度。

6. 污水的生物學 污水中的細菌可分作需氣菌，嫌氣菌，和通性菌(facultative anaerobic bacteria)三類。嫌氣菌在沒有自由氧的情況中活動，而從化合物的分碎取用氧氣。實際上全部污水細菌依賴死的有機物生活。有些細菌需要自由氧，並從溶解在水中的氧取得之，這等稱作需氣菌。通性菌是兩可的。

污水物質的分解可分作氧化與腐化。腐化性分解是沒有氧參加的，它依靠嫌氣菌的活動。幫助氧化的細菌是需氣菌。氧的化合物對視覺和嗅覺都不惹厭的；許多氫的化合物放出很討厭的臭，像硫化氫和氨等。

細菌依靠有機體排泄的酵素繼續它們的生活過程。酵素使它四周媒質被細菌吸收作食品。在細菌生活的媒質中含有過量的酵素和某種細菌的廢產物之時，那種細菌趨於死亡。這在下列事實可作解釋：新鮮污水的細菌試驗顯示較少的細菌數；在變成宿化時，數目暫時增加而後開始減少。

7. 污水分解的生物化學 新鮮污水中的糞便利用存有的溶解氧首先把碳化合物進行酸性發酵而發生二氧化碳。這二氧化碳立即溶解於水，直至將近飽和點，其後它逃入空氣中。因此，污水到達溝渠出口時的pH常有低至5.0的。於是開始由細菌把這等有機酸類拆碎，但是比較它們的形成來得慢。污水的酸度有時也有從工業廢水中來的。釀酒的糟在分解時產生大量有機酸。

酸性發酵似乎阻礙那種有關產生沼氣的細菌作用，因而除非把酸性中和了，像加些石灰，或是酸類被細菌拆碎比它的形成更快並

展開了鹼性反應，沼氣很少產生的。再者，當這種酸性情況時，含氮物質的液化大為減緩。爲了這兩種理由，在努力增進污水固體的消化之時，應儘量避免酸性發酵。

稍爲鹼性的污水(pH 值 7.3 至 7.6 時)產生腐化性消化最活動。完全成熟的污泥可有 pH 值高至 8.2。如果新鮮酸性污水與有這樣 pH 值的足夠污泥混合，它的酸度被中和了。據經驗報導，每天加新鮮污水於消化了的污泥，作 1:50 的比例，把乾的固體含量做基準而配合之，可保持 pH 值於 7.3 至 7.6 之間。這就是對於消化的恰當數值。

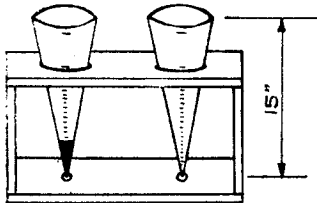
生物的活動除細菌外在各種污水處理廠多有發現。例如某隱化池的消化室中找到了許多原生動物。它們似乎幫助懸游物質的初階段消化，直接地攻擊它而使它在更快的細菌性分解的情況中。但是當池中已經創立了消化時，它們顯然地交讓於其它活動力。因此這樣說：大數目的原生動物在消化室中是不良的工作情況的明白指示。生物的活動在污水溫度華氏 70° 至 85° 間是最大，而在 40° 時幾乎停止。因此，溫度對於生物的作用關係重大。

許多工業廢水沒有有機物質，只起着化學作用。不過它們由於增加或減少酸度，間接地影響生物化學的分解。工業廢水中的有機物質，不論動物性或植物性，進行分解與家屋污水相似。不過它們是一般地較濃而許多又含有大量油脂，因而對細菌作用的抗力較大。

8. 物理的試驗 污水的色反映它的強弱和它的情況(腐化的污水作黑色)，以及有色工業廢水的存在。渾濁度是懸游物質數量的

約計。污水的嗅對它的情況作表面的但是有價值的量度。從嗅辨別污水新鮮，不新鮮，或腐化；有時找出某種廢水的存在。新鮮家屋污水很少有臭，作灰色，其中污質僅少許分裂。溫度的測定有關污水之化學的和生物學的反應和物理的效應。

9. 污水固體的試驗 污水中大部份固體是有機化合物，多數是容易分解的。懸游的和溶解的固體總數稱作總固體。懸游固體是能在石綿層上濾出而後乾化的，它們是有機性居多。溶解固體是從濾過的試料蒸發而得。因為它們包含原有給水的礦物鹽，它們在各個污水中的數量很有高低，而且是有機物質較少。可沉固體是在沉澱槽中通常滯留時間內沉降的懸游固體。不沉降的固體大多是膠質。衛生工程師對膠質的定義是細分至不能沉降的懸游固體。蒸發或過濾餘下的固體經過乾燥，稱重，而燒灼之。所有重量的損失屬於揮發性固體是有機物質；其餘的或固定性固體是無機物質。幾乎一切污水試驗的結果用重量計算的百萬分之幾，簡寫p.p.m. 來表明，其中固體作乾的計算。固體的試驗，特別是懸游固體，顯示污水的濃度。它們也作核對沉澱池和其它處理單位的效率。



第 2 圖

可沉固體是在般氏(Imhoff)玻璃錐管(第2圖)內二小時沉降下來的。錐管的容量是1公升，尖的下部刻着立公分或公撮。一公升的污水在這玻璃器沉降二小時後，讀出沉澱物的數量。這試驗一般地用在沉澱池的進水和出水。最好在

取集進水試料之後，隔開一個時間，相當於池的滯留期間，再行取集出水試料。

10. 化學的試驗 很多種類的化學試驗曾經用在測定污水的特性和校核處理廠的成就。有些，特別是關於氮化物的，是比較以前少用了。下面並不包括方法，僅是對於試驗的意義作一概述。

氮氣(ammonia nitrogen)從前稱作自由氨，是氮的量度，存在着像氫氧化銨和幾種銨鹽。當污水是處理了或在接近安定了，它的數量將見減少。

有機氮(organic nitrogen)是污水中總的氮化物除了存在着像氮氣，亞硝酸鹽，和硝酸鹽。在嫌氣的分解中，它變成氨，而在需氣的分解中，它變成亞硝酸鹽和硝酸鹽。

蛋白氮(albuminoid nitrogen)的名稱用在污水和過錳酸鉀的鹼溶液加熱後放釋的氨。它代表那容易分解的有機氮。經過污水處理，它應該多量地減少。蛋白氮和有機氮的試驗是不常做的。

亞硝酸鹽(nitrites)的試驗指示已經部份氧化的氮，而硝酸鹽(nitrates)的數量顯示向完全氧化和安定途徑的進展。處理完善的污水顯示較高比例的硝酸鹽，也可說污水是良好地硝化了。

氯化物(chlorides)在污水中所含較在自來水中為多，因為食品的鹽排洩於人體廢料中。因此，在河流或湖泊中發現了超過正常數量的氯化物表示有污水或污水處理廠的出水，不過受到潮汐影響的河流除外。

硫化氫存在污水指示嫌氣的分解或腐化。如有大量存在可致混凝土的出口溝渠腐蝕和在污水處理廠發臭。若能保持原污水中的

硫化氫在百萬分之 1 以下，情況並不嚴重。

耗氧量(oxygen consumed)指示污水中含碳物質的數量。這試驗用在測定污水強度和管制處理廠的效率。它的優點在容易做，但是沒有像生化需氧量(B.O.D.)測定的那樣直說的，並且要注意不要和它混雜。B.O.D. 是自然的需氣的分解所需氧氣。耗氧量正常是小於需氣量。近年來，耗氧量的試驗少用了。

溶解氧(dissolved oxygen)在新鮮污水中有少量的。它將立刻不見，因而對原生的和沉降的污水不做溶解氧試驗。然而經過高度處理後，溶解氧應當發現在出水，那麼這試驗變成效率的重要指示。關於河流玷污的研究，水的溶解氧含量是它的最明顯的特性，因此，這試驗是屬於十分重要性。

第 2 表 溶解氧的飽和數值，百萬分之幾

溫 度，攝 氏	0	5	10	15	20	25	30
淡水(0 p.p.m. 氣)	14.6	12.8	11.3	10.2	9.2	8.4	7.6
海水(20,000 p.p.m. 氣)	11.3	10.0	9.0	8.1	7.4	6.7	6.1

衛生上的妨礙隨着溶解氧的消失而來，魚的生活以及污水處理方法和稀釋處置的有順序的分解進度都是依賴着溶解氧的存在。氧從空氣中或壓縮機吸收到污水中去。第 2 表顯示淡水和海水的溶解氧飽和量。例如，淡水在 15°C 含了 4.0 p.p.m. 的溶解氧，比較飽和數值缺少 $10.2 - 4.0 = 6.2$ p.p.m.，飽和百分數 = $100 \times 4.0 \div 10.2 = 39\%$ 。

pH 是氫游子濃度的記號。水，污水，和污泥的鹼度和酸度常常