

能資源再利用/處理製程 及產品深化應用推廣手冊

廢水生物處理製程

目錄

目錄.....	i
表目錄.....	ii
圖目錄.....	iii
第一章 前言.....	1
1.1 緣起.....	1
1.2 手冊內容說明.....	4
第二章 製程用水減量及回收循環利用.....	5
2.1 製程用水對環境之影響.....	5
2.2 製程用水減量及回收循環利用技術.....	9
2.2.1 水循環利用生物處理原理.....	9
2.2.2 水循環利用生物處理評析.....	16
第三章 能資源與相關製程之整合升級案例.....	20
3.1 能資源整合升級案例介紹.....	20
3.1.1 製程流程.....	20
3.1.2 能資源效益提升方案.....	23
3.2 具體效益分析.....	30
3.2.1 環境效益分析.....	30
3.2.2 經濟效益分析.....	31
第四章 結語.....	32
參考文獻.....	33

表目錄

表 2-1	常見之廢水生物處理方法	15
表 2-2	MBR 程序之優缺點.....	17
表 3-1	網葉狀生物濾材之性質.....	25
表 3-2	網葉狀旋轉生物圓盤之優勢	28
表 3-3	膜片式與網葉狀旋轉生物圓盤比較	29
表 3-4	網葉狀旋轉生物圓盤法之水質處理	30

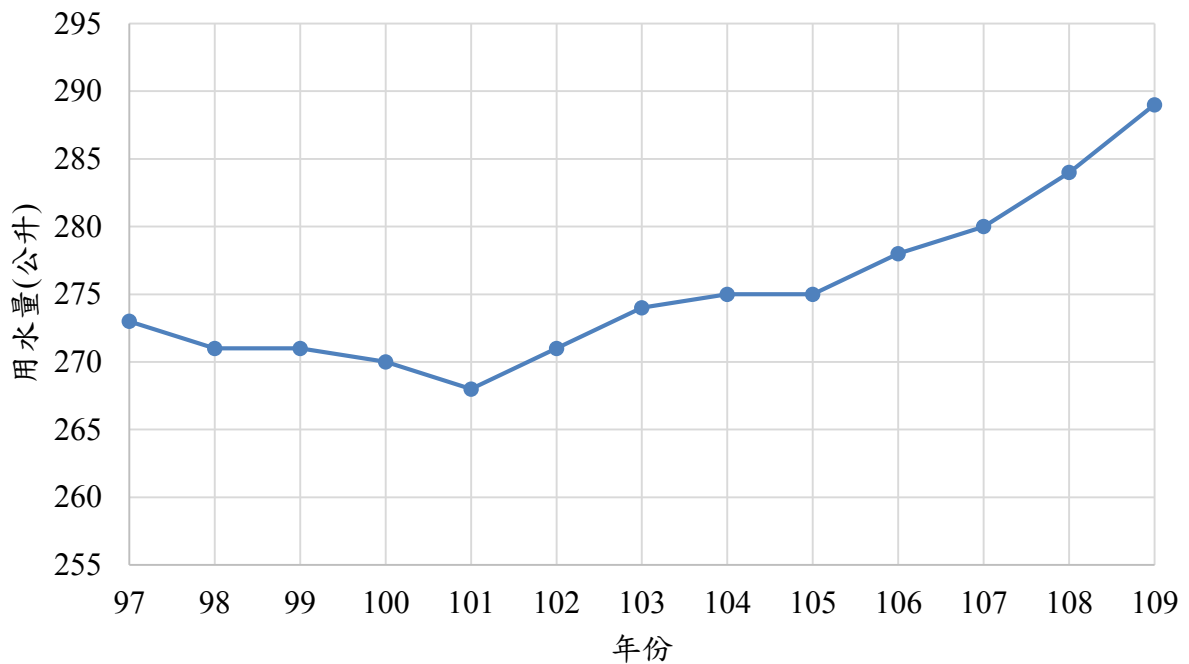
圖目錄

圖 1-1	我國每人每日生活用水量	1
圖 1-2	工業區歷年用水量.....	2
圖 2-1	全球再生水之用途分布.....	8
圖 2-2	我國再生水之用途分布.....	8
圖 2-3	常用用水與廢污水處理技術及設備	10
圖 2-4	初級處理流程.....	11
圖 2-5	二級處理流程.....	12
圖 2-6	好氧生物處理程序.....	16
圖 2-7	傳統活性污泥程序與 MBR 程序之比較	18
圖 2-8	厭氧生物處理程序.....	19
圖 2-9	廢水生物處理基本架構.....	19
圖 3-1	旋轉生物圓盤法系統圖.....	21
圖 3-2	膜片式濾材.....	24
圖 3-3	膜片式旋轉生物圓盤.....	24
圖 3-4	網葉狀生物濾材示意圖.....	25
圖 3-5	網葉狀生物濾材.....	26
圖 3-6	網葉狀旋轉生物圓盤.....	27
圖 3-7	網狀式旋轉生物圓盤之實場應用	27

第一章 前言

1.1 緣起

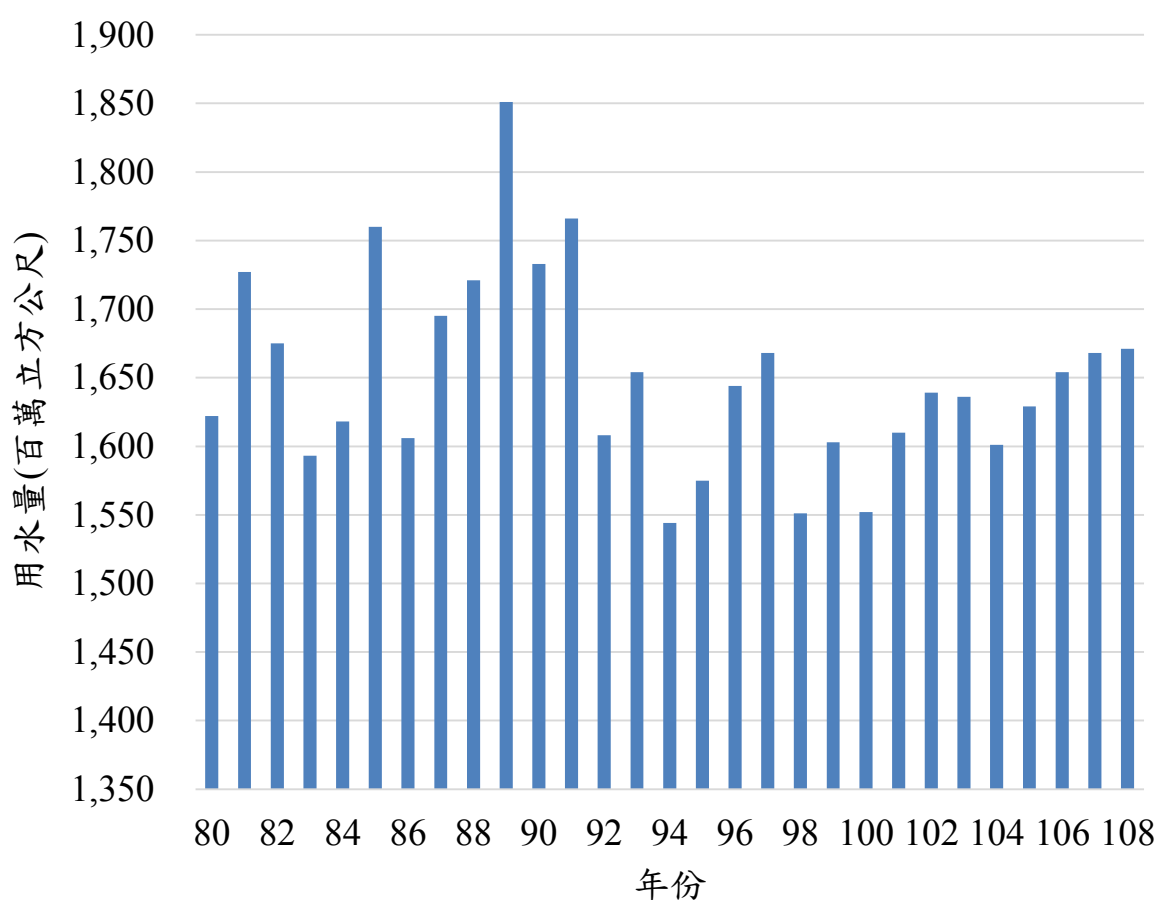
我國平均降雨量可達 2,500 毫米，且年降雨量達全球平均值之 2.5 倍，然因地勢環境高聳、嚴峻地形，造成河流坡陡湍急，河流水質保持不易，約有 80 % 的水資源最終流入大海或蒸發，故每年每人平均所能分配之可用水量不足，成為相對缺水的國家，使我國被聯合國列為世界排名第 18 位缺水國家，且根據世界經濟論壇發布之《全球風險報告》指出，2020 年除因新冠肺炎所造成之社會及經濟衝擊外，影響力最大之仍為氣候與環境之衝擊，其中極端氣候與水資源危機環環相扣，因此水資源利用及管理成為重要議題，有關我國每人每日生活用水量，如圖 1-1 所示。



資料來源：【1】。

圖 1-1 我國每人每日生活用水量

目前我國水資源供給主要來自河川引水、水庫調節及地下水，其中河川引水需視每年之水文狀況，而水庫因調節蓄水將損耗大量能源，且其興建除工程費用龐大及費時外，亦常遭保育團體質疑及抗議，以及超抽地下水導致地層下陷等環境議題，且隨經濟高度發展，工業區用水需求量大，而水資源相較於其他天然資源，如石油、天然氣及金屬等，若缺乏將大幅影響社會及經濟發展，有關工業區歷年用水量，如圖 1-2 所示。



資料來源：【2】。

圖 1-2 工業區歷年用水量

水利事業需透過蓄水設施及水源調度等措施，以滿足民生及工業等用水需求，然其皆損耗大量能源，因此每年皆負擔龐大之用電量，而我國 98%以上之能源使用需仰賴國外進口，缺乏自產能源，因此應共同努力積極推動提升能資源之使用效率，且近期國際燃料價格急遽攀升，加上對於環保之重視，降低用電成本並減少溫室氣體之排放，推動節能減碳工作是當前刻不容緩之急務。

為穩定社會及經濟持續發展，我國水資源利用需透過多元水源供應方式，以滿足各界用水需求，多元水源包含事業廢水、生活污水、貯留雨水及海水等，事業廢水指工廠、礦場、廢水處理業及農業等，於製造及生產過程中所產生含有污染物之水源；生活污水係指自建築物排放至污水下水道前之污水，或經污水處理廠放流之水源；貯留雨水係指自建築物之頂蓋或基地周邊，或非水庫之挖塘蓄水，以人工方式截取或貯存之雨水；海水係指於海域內海面以下且於海床以上之水，海水經淡化處理後之水源。

其中事業廢水及生活污水之產生量穩定，若無妥善處理將造成環境污染，且為滿足各界用水需求，水資源之配送亦將造成能源損耗，因此發展相關水資源處理再利用之技術為重要目標，降低廢污水所造成之環境衝擊，並提升廢水處理再利用效率，以朝向資源永續發展。

1.2 手冊內容說明

隨經濟高度發展，國人用水量不斷增加，目前農工商業及生活用水一年需求量高達二百億公噸，水資源開發未能及時增加供應，因此需提升可利用水資源之安全性，並降低水資源配送之能源損耗。

現今產業之製程、處理方式與技術皆具有創新、精進之趨勢，同時環保法令趨嚴，有鑑於此，為協助有意參與區域能資源整合之廠商或相關單位，輔導並積極投入參與能資源整合工作，本手冊針對常見之能資源再利用/處理製程及其相關產品撰寫深化應用推廣手冊，手冊內容包括能資源整合與國產能資源相關製程之整合升級案例說明，提供國內廠商參考應用，以增進廢棄資源物之再利用效率，促進能資源之循環利用網絡形成，達成環境、經濟及社會效益以提供產業界較廣泛及多樣化之能資源化技術訊息，藉此帶動國內能資源化再利用技術之開發與研究，以達到永續循環之目標。

本手冊針對廢水生物處理製程進行說明，為提升廢水再利用處理效率，同時確保水資源之分配並降低廢污水對環境之衝擊，故發展相關水資源處理再利用之技術為重要目標，方能因應未來能資源耗竭之窘境，於兼顧能源、資源及環境之發展下，藉由相關製程及產品提升水資源之再利用率，以有效降低能資源耗竭及環境惡化之衝擊。

第二章 製程用水減量及回收循環利用

隨經濟持續發展，水資源需求量持續上升，而經利用過之水資源如事業廢水及生活污水，尚需透用廢水處理相關製程以降低環境衝擊，本章節針對製程用水對環境之影響及廢水生物處理技術進行說明。

2.1 製程用水對環境之影響

臺灣早期因地廣人稀，水資源較為充足，自然水體如河川、湖泊及湧泉等皆可取得足夠之水源；隨著人類農牧活動及工商快速發展，皆導致自然水體之污染，而因工商經濟之高度發展，各種工業用水處理之需求越趨上升，已面臨水資源供給不足之情形，另使用過之水資源，由於水質惡化逐漸影響生活環境，對於廢污水處理需求越趨增高，根據水利署研究計畫統計結果，預估我國未來 20 年之需水量為持續上升，至 2031 年時需水量將達每年 228.65 億立方公尺，且因我國天然地形不易匯集水量，導致即使降雨量豐沛，仍不易保存水資源，有鑑於水資源開發之重要性，應提升水資源使用及再利用之效率。

水污染係為因污染物未經過妥善處理即排入水體，導致其污染負荷總量超過水體之涵容能力，影響其水質與水體之正常用途，一般水污染來源包括家庭廢水、工業廢水、垃圾滲出水、畜牧廢水，或是因各種開發工程所導致之環境危害，其中，工業廢水之來源主要為採礦及選礦廢水、金屬冶煉廢水、煉焦煤氣廢水及機械加工廢水等，而工業廢水污染較其它廢水污染嚴重，主因為其排放量大、污染範圍廣及排放方式較複雜，且工業產品之種類、生產方式亦不相同，使其污染物之種類繁多，且濃度波動幅度大，同時由於工業廢水中含有大量氮、磷及鉀等礦物質，使藻類大量生長，消耗水中溶氧量，進而造成水質優養化，危害水中生態平衡。

各產業於生產過程中排出廢水，包括製程用水、機器設備冷卻水、煙氣洗滌水、設備和場地清洗水等，其成分複雜且污染物含量變化大，以下說明礦物開採、金屬冶煉、煉焦煤氣以及機械加工廢水之污染。

1.採礦及選礦廢水

各金屬礦、非金屬礦及煤礦等開採礦坑廢水，主要含有礦物質懸浮物和金屬溶解離子，硫化礦床之礦水中含有硫酸即酸性礦水，其具有較大污染性，除含有大量的懸浮礦物粉末或金屬離子外，尚含有各類浮選劑、酸性廢水及含重金屬離子，造成水污染。

2.金屬冶煉廢水

鋼鐵工業的煉鐵、煉鋼及軋鋼等過程冷卻水，其水污染性不大；洗滌水如除塵、淨化煙氣，其含有大量懸浮物，需經沉澱後才可循環使用；有色金屬如銅、鉛、鋅及鋁等冶煉廢水，多含有金屬離子及鹽類，將造成水體污染。

3.煉焦煤氣廢水

焦化廠、城市煤氣廠等於製程中產生廢水，包括大量氨、硫化物、氰化物及焦油等雜質。

4.機械加工廢水

機械加工廢水包括鑄造、機床、塗漆及電鍍等廢水，廢水主要含機械潤滑油脂，且因廢水內可能含有病菌及含氮有機物，故耗氧量較高。

由於我國產業分布較為廣泛，因此廢水不易集中處理，然工業廢水含多種污染物，若未經廢水處理相關製程則直接排入河川，將破壞水質及周遭環境，且鑑於未來供水量不足，應朝再生水源發展，需同時顧及社會接受性、安定風險性，現今國際上之再生水之用途分述如下。

1. 農業用水

由於農業灌溉之用水量大，多為依賴水庫或河川取水，對於經常性用水資源不足之處，再生水於枯水季亦可供水，故可作為另一適當替代及穩定水源。

2. 景觀澆灌用水

我國每年使用於都市、公園綠地、行道路及高速公路綠化之用水量相當大，若以再生水供應綠化所需之景觀澆灌用水，可利用水車配管從污水廠處理直接取水利用，另我國落塵量較高，過去皆從消防栓取水以清洗街道，未來均可以再生水替代之，以減少自來水損耗。

3. 工業用水

鄰近污水處理廠之工業區或工廠，其用水如冷卻用水、鍋爐用水及製程用水等，可自都市污水處理廠以專管輸送，除可穩定供水之水源外，亦不受豐枯水期影響，以提升水資源再生利用之效益。

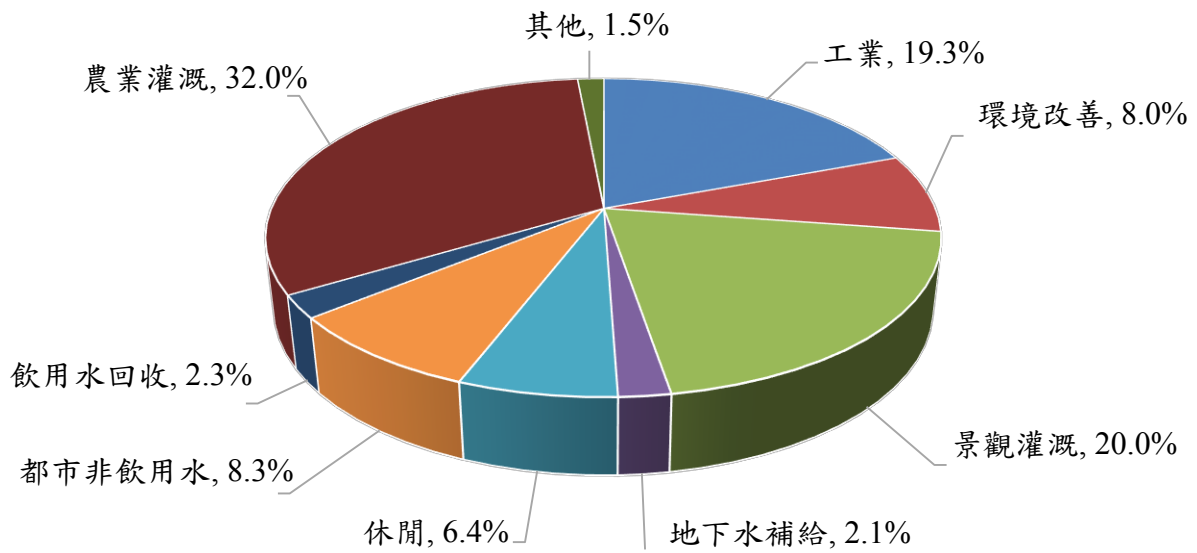
4. 都市非飲用水

其利用污水處理水之目的，主要為確保水源，以防水源不足或慢性水源不足，而於開發同時配置中水道回收污水處理水作為沖廁用水。

5. 環境用水

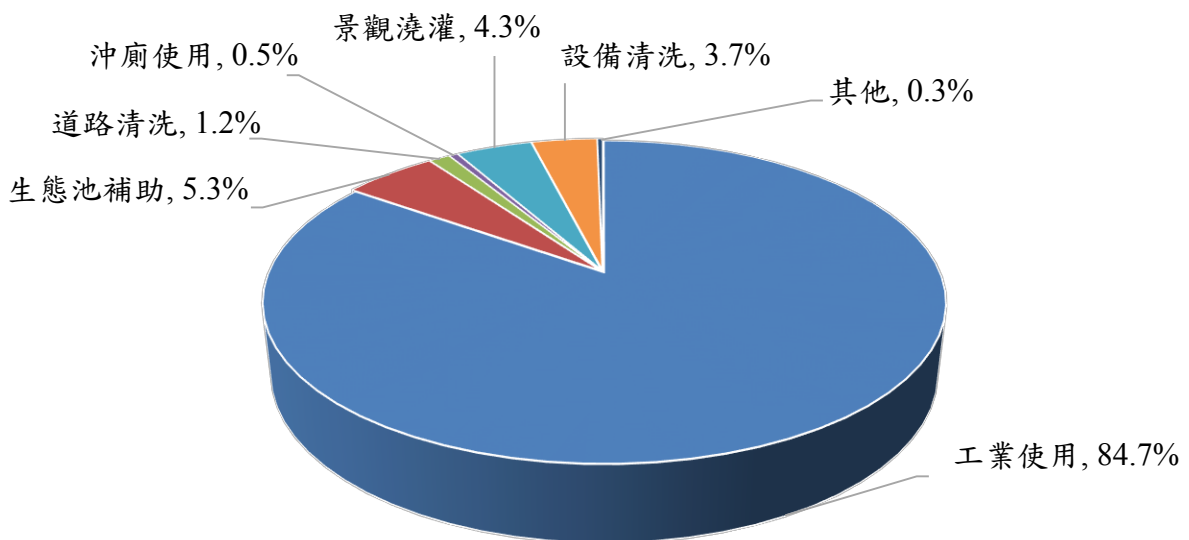
為維持池塘、公園水塘、噴水池及水簾等增進都市景觀之用水，可由污水處理廠將再生水抽送，充分達到環境用水與綠化之增進效果，以維持都市內河川之水生生不息。

為因應未來供水量不足之情形，水資源回收再利用越趨重要，且國際間水再生處理之相關製程已持續發展，有關全球及我國再生水之用途分布，如圖 2-1 及圖 2-2 所示。



資料來源：【3】。

圖 2-1 全球再生水之用途分布



資料來源：【4】。

圖 2-2 我國再生水之用途分布

2.2 製程用水減量及回收循環利用技術

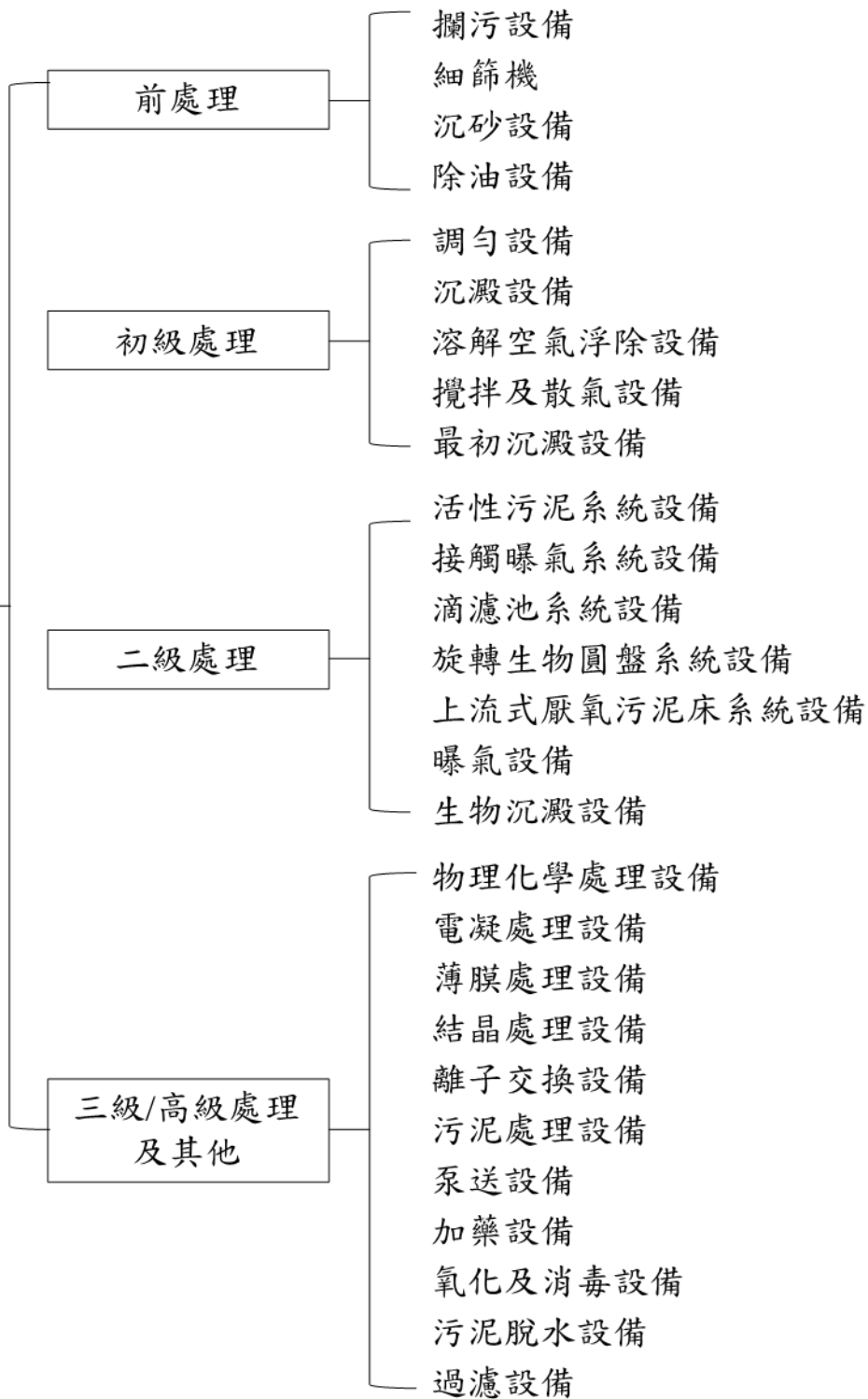
河川及湖泊等水體污染源主要為家庭污水、工業廢水及其他事業廢水，水污染之處理技術需同時考量經濟面及環境面之效益，而水處理可分為用水處理及廢污水處理，皆主要以物理、化學及生物等作用，將水中雜質或污染物移除，達到淨化水質之目標，以下說明廢水處理技術之原理及評析。

2.2.1 水循環利用生物處理原理

廢水污染之種類繁多，如酸性廢水、高溫廢水、含油脂廢水、含氰廢水及含重金屬之廢水等，皆需要各種不同水處理技術，以去除污染物。水處理程序可分為前處理、初級處理、二級處理及三級/高級處理等，依據不同原水水質及處理水水質之要求，以及經濟效益考量下，選擇適當之處理程序組合以進行處理。

水處理方式可分為物理處理法、化學處理法及生物處理法，物理處理法係為去除廢水中可沉降或浮除之物質，處理方法如重力沉降、隔除、浮除、撇除及離心曝氣等；化學處理法係為利用化學藥劑去除廢水中之膠體、懸浮固體及油脂等污染物，處理方法如化學混凝、化學沉降、氧化還原、酸鹼中和、吸附及離子交換等；生物處理法則為利用微生物處理生物可分解之物質，處理方法如活性污泥法、厭氧消化槽及旋轉生物圓盤法等，有關常用用水與廢污水處理技術及設備，如圖 2-3 所示。

用水及廢水處理設備



資料來源：【5】。

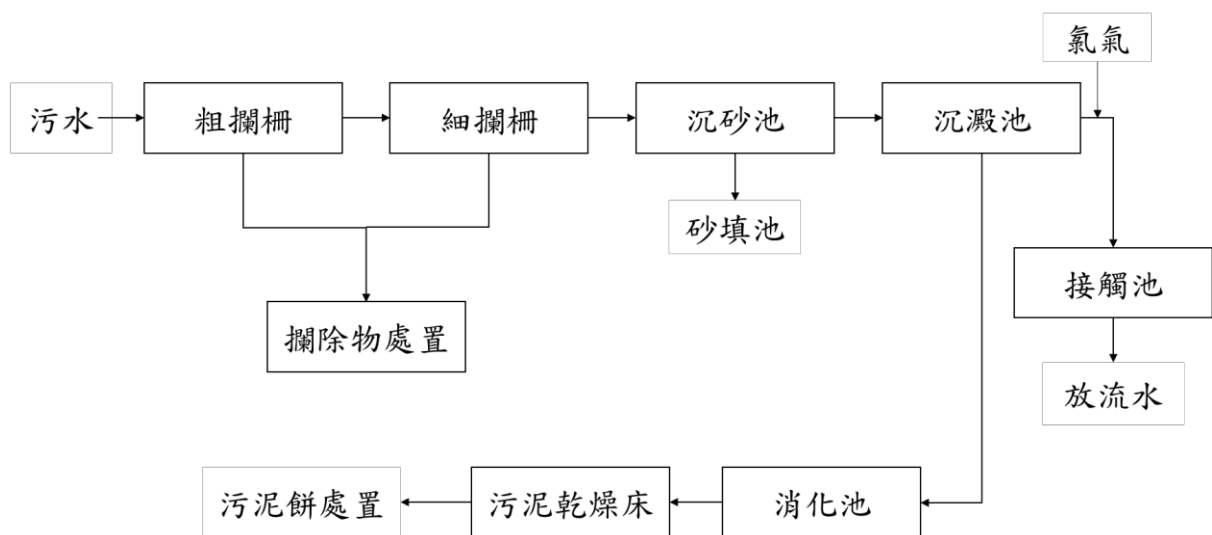
圖 2-3 常用用水與廢污水處理技術及設備

1.前處理

指以機械攔截、重力沉澱、浮除等方式，將水中體積較大之懸浮固體、較重之無機性固體及油脂等污染物先行移除，避免造成後續處理單元設備發生阻塞、磨損等現象，進而影響到機械設備之功能。常見之前處理設備為攔污設備、細篩機、沉砂設備、預曝氣池及除油設備等。

2.初級處理

將污水中大部份可沉降物質或 50 %~70 %之懸浮固體加以去除，配合化學加藥凝集處理，則膠狀物質亦可被去除，常見之初級處理設備為初級沉澱池、浮除池及化學混凝沉澱池等，有關初級處理流程，如圖 2-4 所示。



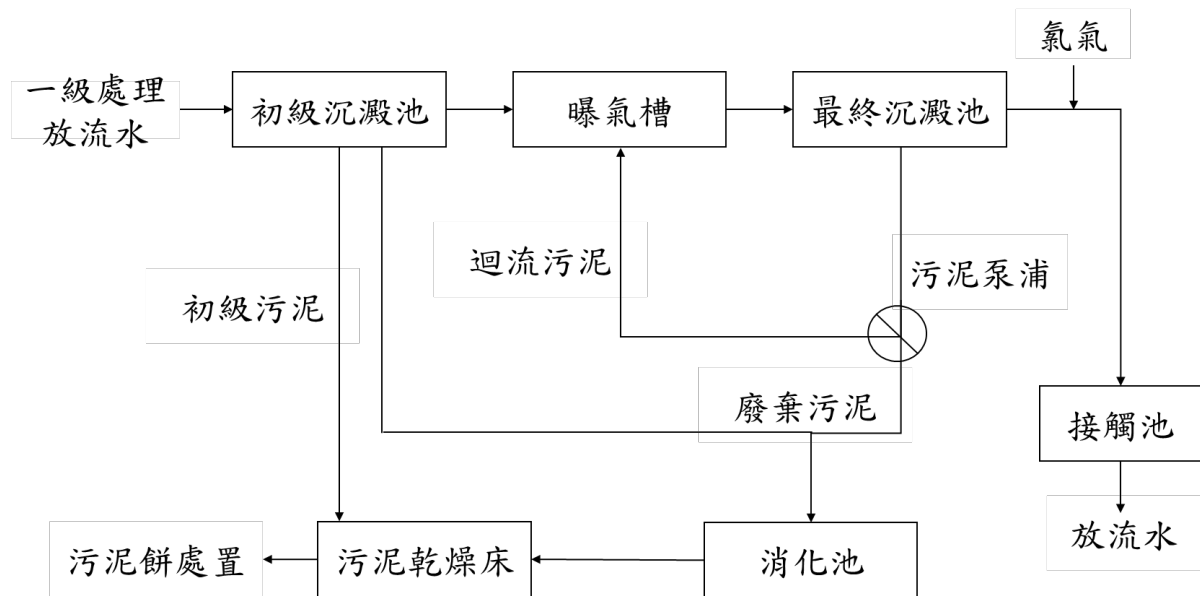
資料來源：【6】。

圖 2-4 初級處理流程

3.二級處理

一般係指生物處理，其主要原理為控制及培養一定數量之微生物，利用微生物生長代謝作用，以分解去除廢水中之有機物質，再將處理水和微生物分離，並廢棄增殖過剩之微生物量，而達到淨化水質之目的，生物處理可分

為好氧處理及厭氣處理兩大類，常見之好氧處理為活性污泥法、接觸曝氣法、滴濾法及生物旋轉盤法等；常見之厭氣處理為上流式厭氣污泥床法，有關二級處理流程，如圖 2-5 所示。



資料來源：【6】。

圖 2-5 二級處理流程

4.三級/高級處理

指廢污水經過生物處理後，再將其放流水予以除氮、除磷、除固體物、除鹽、脫色、除臭及消毒等處理程序。

(1) 除氮

去除廢污水中氮成分，常用方法為生物硝化法、生物脫硝法、生物硝化-脫氮法、氣提法、折點加氯法及離子交換法等。

(2) 除磷

去除廢污水中磷成分，常用方法為生物除磷法、化學沉降除磷法、化學生物併用除磷法等。

(3) 除固體物(或膠質)

固體物可分為懸浮固體及溶解性固體，懸浮固體之去除包括微顆粒及膠體物，無法以重力沉澱之物質，可採用離心分離機、空氣浮除法、矽藻土過濾法、混凝沉澱及快濾池等去除之；而溶解性固體則採用離子交換法、微細孔濾膜過濾、活性炭吸附及化學氧化等方式去除。

(4) 除鹽

去除溶解鹽類方法為離子交換樹脂法、電析法、逆滲透法、凍結法、蒸發法及蒸餾法等。

(5) 除色/臭

去除色及臭之方法為氧化法及活性炭吸附法。

5.回收再利用

近年注重水資源之有效利用，除在系統上減少浪費，提高重復使用率外，亦開始運用各種高級處理設備，如 MF、UF、NF 及 RO 等薄膜處理技術，以提升廢污水再使用率。

6.廢水泵送

應用設備可分為離心式、渦流式、迴轉式、往復式、真空泵浦及螺旋式等型式，而用於污泥抽送之泵浦除有離心式、渦流式及螺旋式等。

而二級處理中之廢水生物處理程序，基本上可分為厭氧處理及好氧處理，厭氧處理常用於高濃度廢水，好氧處理則較常見於業界所使用。於生物好氧處理上，亦分為多種處理程序，如活性污泥法、接觸氧化法及氧化渠法等，各項處理方法之選用有其特性考量；如活性污泥法具處理效率較高，但污泥產量較多；接觸氧化法處理效率較低，污泥產生量相對亦較少；氧化渠法具處理較穩定之優勢，但有占地較大之缺點等；另有結合活性污泥法及接觸氧化法之處理程序，以處理較高濃度廢水之研究，如活性生物濾床 (Activated Biofilter, ABF)、移動床生物膜反應器 (Moving Bed Biofilm Reactor, MBBR) 等。

生物處理主要利用微生物分解去除溶解性有機污染物，考量承受水體之水質標準、涵容能力及廢水流量等計算出處理程度，即可初步決定採用之處理方式，藉由特定之族群微生物，將欲去除之有機物代謝分解，經由生物細胞合成，以轉換成無害有機污泥，最終產品則為排出穩定之放流水，以及含高熱值有機性生物污泥，相較於物化處理所增生之無機性化學污泥，生物處理僅產出有機物轉化之生物污泥，更符合污泥減量化之環保處理程序，有關常見之廢水生物處理方法，如表 2-1 所示。

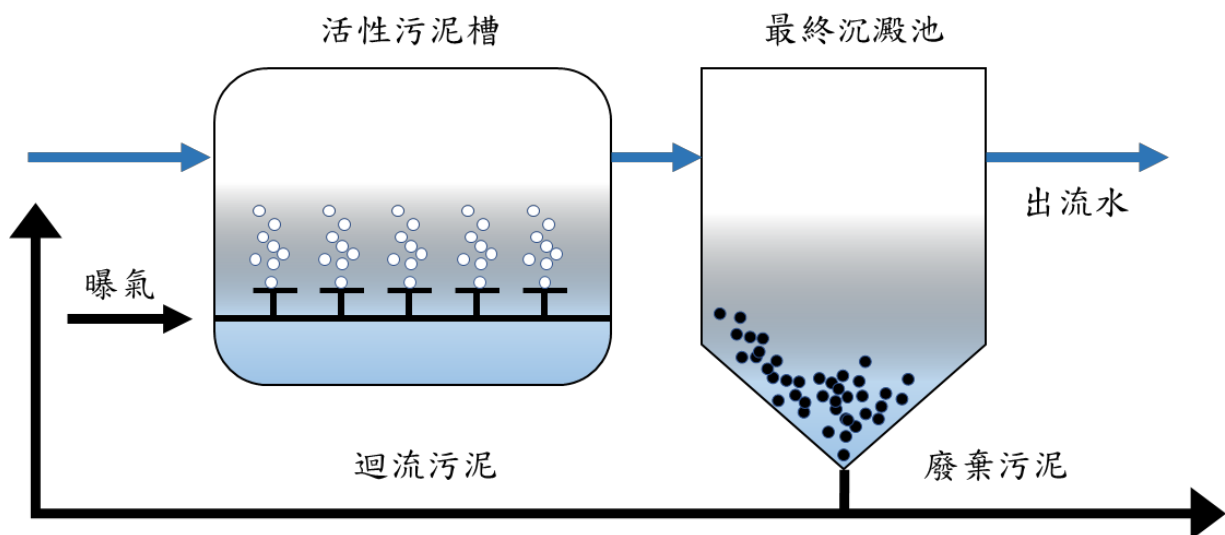
表 2-1 常見之廢水生物處理方法

處理方法	定義
活性污泥法	利用活性污泥混和液中微生物代謝作用，將污水中之有機物安定化後，藉沉澱方式，分離上澄液與沉澱活性污泥之方法。
階梯曝氣法	為使曝氣槽內混和液之氧利用量均勻化，將狹長之槽體分成數處分別流入污水之活性污泥法。
延長曝氣法	增加污水與活性污泥之接觸時間，使污水生化需氧量及剩餘活性污泥減少之活性污泥法。
氧化渠法	利用一種具有環狀無端點之曝氣渠道作為反應槽之活性污泥法。
接觸曝氣法	將浸漬在反應槽內接觸材表面附著之微生物代謝活動，用以達到污水處理之方法。
旋轉生物圓盤法	圓盤之一部分浸入水中，緩慢旋轉，藉圓盤上附著之微生物代謝活動達到污水處理之方法。
純氧活性污泥法	指曝氣部分採用純氧之活性污泥法。
超深層曝氣法	以深約 50 公尺至 100 公尺之 U 型循環管槽入空氣，使污水，污泥與空氣增加接觸時間之活性污泥法。
回分式活性污泥法	在單一水槽內同時具有活性污泥反應槽與沉澱池功能之活性污泥法。
好氧濾床法	初沉池出流水經濾料間隙時，藉附著於濾料表面之好氧微生物，分解有機物並捕捉懸浮固體物，以達污水處理之方法。

資料來源：【7】。

2.2.2 水循環利用生物處理評析

典型活性污泥法需包含曝氣槽及沉澱槽，透過曝氣槽將廢水中有機物氧化成二氧化碳，而去除有機物過程中，細菌會同時產生新菌體(即活性污泥)，經處理後水透過沉澱槽進行固液分離並濃縮較濃之污泥進行迴流與部份廢棄，以利維持系統正常功能，相關設備如薄膜生物反應器(Membrane Bio-reactor, MBR)或序批式間歇反應器(Sequence Batch Reactor, SBR)，前者是利用薄膜取代傳統沉澱槽，後者則是利用同一槽體，安排不同時段分別進行反應、沉澱、出水等程序，有關好氧生物處理程序，如圖 2-6 所示。



資料來源：本研究自行彙整。

圖 2-6 好氧生物處理程序

傳統生物處理為利用反應槽中之活性污泥吸附及分解水中有機物，並於最終沉澱池進行固液分離以達到水質淨化之目的，此外亦可利用厭氧、缺氧、好氧等不同反應槽之配置以達到除氮、除磷之目的，其中亦發展薄膜生物反應器(Membrane Bio-Reactor, MBR)，結合活性污泥系統與薄膜單元，利用活性污泥降解有機物及薄膜分離固體顆粒之特性，可將廢污水處理至能

直接回收再利用之放流水水質，MBR 是於傳統活性污泥法於曝氣池中加裝數組薄膜組合而成，操作時利用透膜壓力為驅動力，將經過活性污泥處理過的混合液體經過濾而得到濾液，由於一般於 MBR 中使用的薄膜其孔隙約僅有 0.1~0.4 μm ，因此所得之放流水質佳，出流水甚至能達到所有回收再生水的水質標準，有關 MBR 程序之優缺點，如表 2-2 所示。

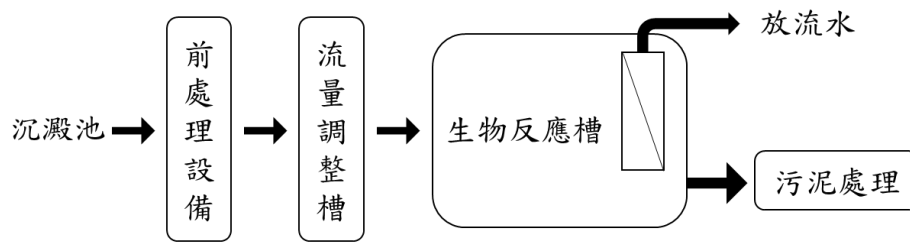
表 2-2 MBR 程序之優缺點

優點	缺點
(1) 土地面積小 (2) 固體物幾乎可完全去除 (3) 污泥濃度高，可承受進流水 濃度變化 (4) 不受污泥膨化影響 (5) 污泥廢棄量少 (6) 既有場可翻新改建	(1) 薄膜阻塞問題 (2) 薄膜成本高 (3) 曝氣動力高(因模組不同而 異)

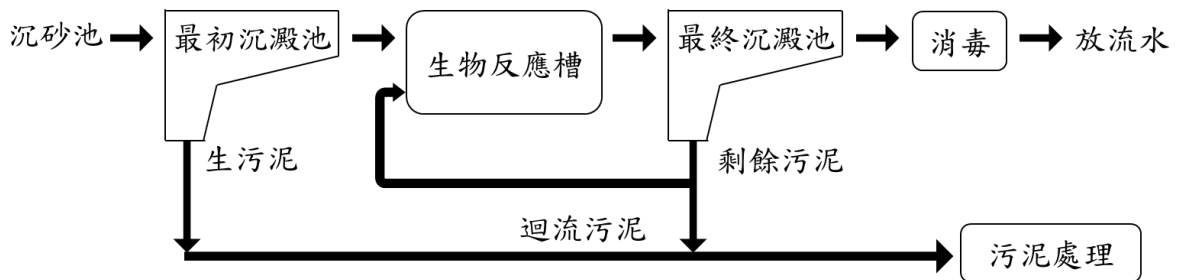
資料來源：【8】。

薄膜單元可取代傳統活性污泥程序的二級沉澱池及其後續三級處理或污泥處理單元，由於將薄膜置放於傳統活性污泥法之好氧槽中可取代沉澱池與消毒槽的角色，因此薄膜生物處理程序而言，所需用地面積小，且其反應槽內薄膜最主要功能為過濾機制，且薄膜具有半滲透性與選擇性，只可分離特定物質，利用薄膜分離廢水中的固體顆粒時，需提供適當的驅動力，其可為壓力差、親和力、電荷、濃度差及化學性質等，有關傳統活性污泥程序與 MBR 程序之比較，如圖 2-7 所示。

MBR處理流程



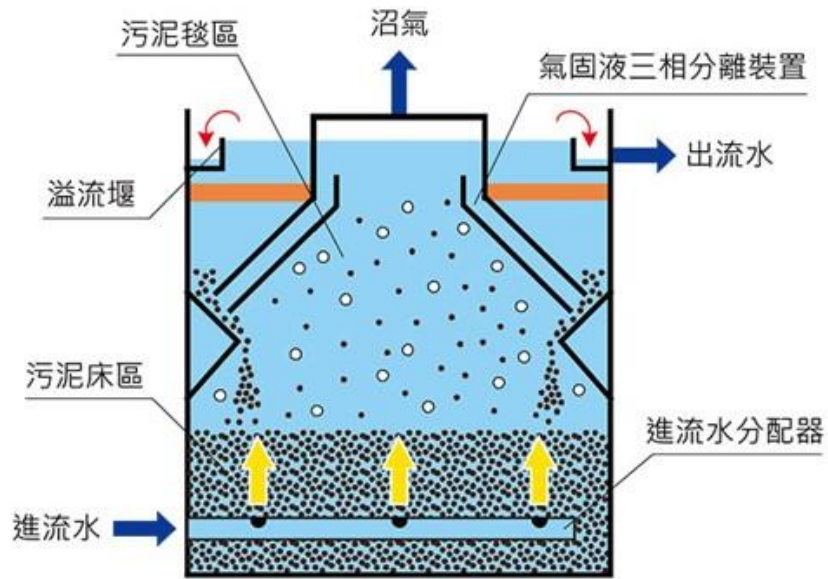
活性污泥法處理流程



資料來源：【8】。

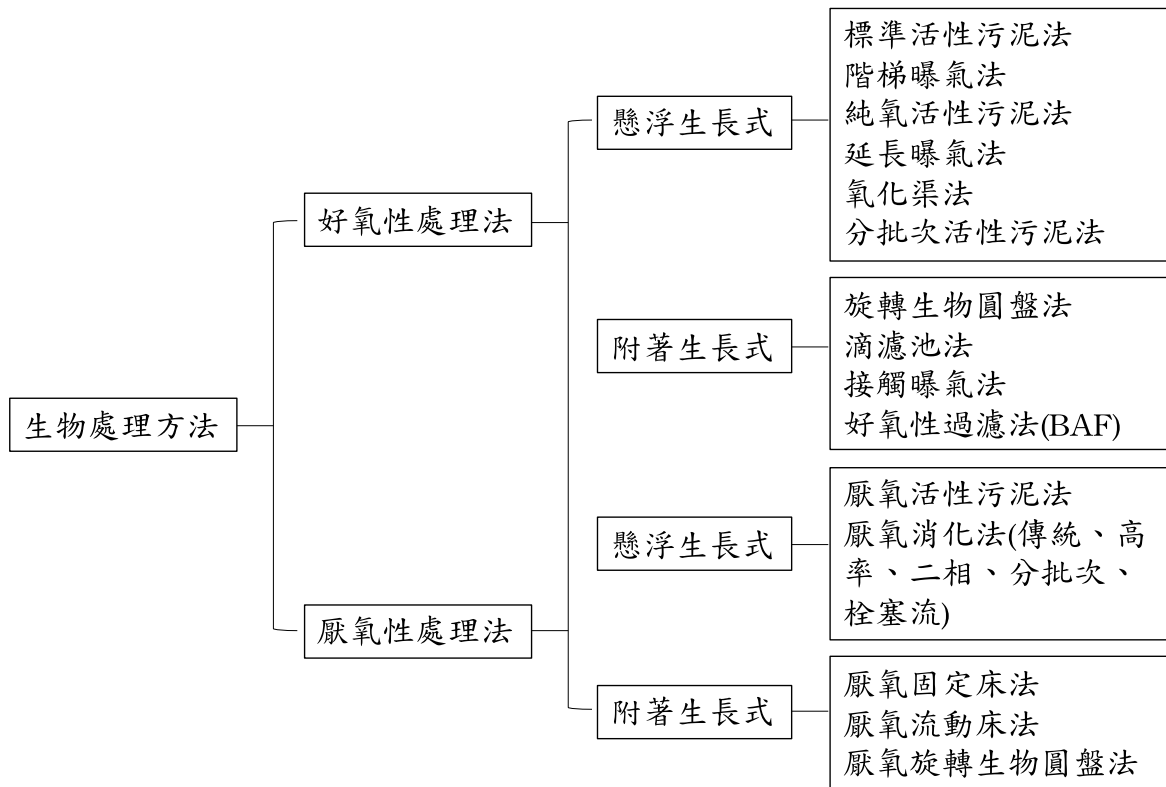
圖 2-7 傳統活性污泥程序與 MBR 程序之比較

另一種常見生物處理即為厭氧反應，主要是透過厭氧菌將有機物分解成甲烷及二氧化碳，常見之厭氧反應設備為上流式厭氧污泥床(Upflow Anaerobic Sludge Bed, UASB)，通常包含進水分配器、直立式的槽體及氣-液-固三相分離器，廢水由進水分配器進入反應槽後，透過厭氧菌將廢水中有機物分解成甲烷及二氧化碳，再透過三相分離器將污泥截留在反應器內，以維持系統正常功能，其他常見厭氧反應器如：厭氧流體化床(Anaerobic Fluidized Bed, AFB)、厭氧固定濾床(Anaerobic Fixed Bed, AFB)及膨脹顆粒污泥床(Expanded Granular Sludge Bed, EGSB)等，有關厭氧生物處理程序及廢水生物處理基本架構，如圖 2-8 及圖 2-9 所示。



資料來源：【9】。

圖 2-8 厭氧生物處理程序



資料來源：本研究自行整理。

圖 2-9 廢水生物處理基本架構

第三章 能資源與相關製程之整合升級案例

隨經濟高度發展，農工商業及生活用水之需求量不斷上升，然因氣候變遷導致我國豐枯期之降雨量差異越趨增大，且因地形特殊留水不易，因此為確保水資源開發可即時供應，且亦降低水資源配送之能源需求，應發展水資源回收再利用之相關製程，同時降低廢水所造成之環境衝擊，本章節針對廢水生物處理之整合升級案例進行說明。

3.1 能資源整合升級案例介紹

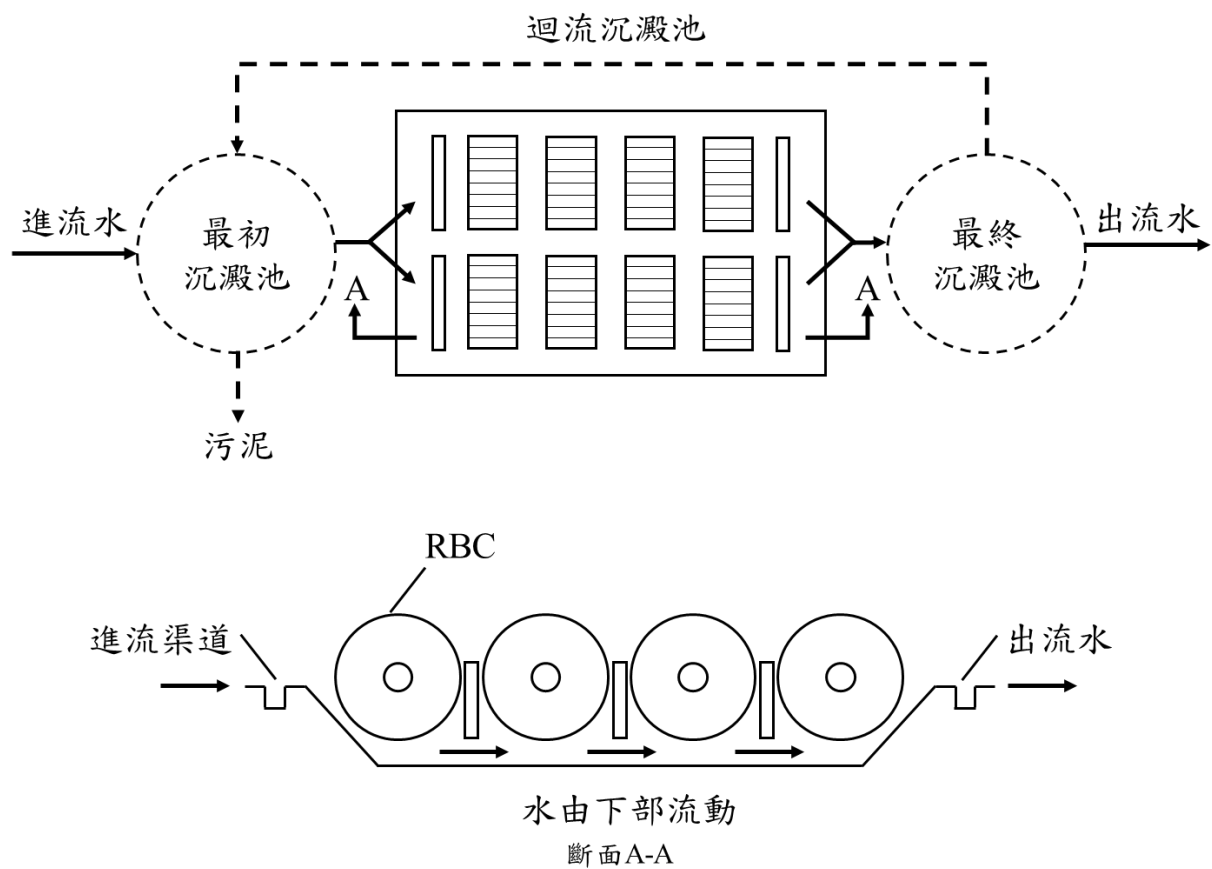
為滿足各式用水需求，水利事業每年使用蓄水設施及水源調度，皆需消耗大量能源，同時為因應水資源耗竭之窘境，需藉由相關製程及產品提升水資源再利用之效率，以有效降低環境衝擊及減緩能資源耗竭之現況，本節介紹旋轉生物圓盤法(Rotating Biological Contactor, RBC)，簡稱 RBC 法，其原理主要為利用附著於圓盤上之微生物群以去除污水中有機性污染物質之處理法，以下針對製程原理及效益提升方案進行說明。

3.1.1 製程流程

1. 旋轉生物圓盤法之原理

使一連串之圓盤分成數段，且約 40%~70%之體積浸於接觸槽之水中，當緩慢旋轉圓盤而進流污水後，一段時間圓盤表面將產生附著之微生物群，其隨著圓盤交換旋轉於水及空氣中，微生物可附著於盤面上形成一生物膜，且吸收氧及有機物進行好氧性分解。微生物之厚度通常為 0.5~2 mm，隨接觸時間增長，微生物膜越趨增厚，覆蓋於底層之微生物群呈現厭氧狀態並逐漸失去活性時，將藉由旋轉圓盤之剪力，使微生物群從旋轉圓盤表面脫落，而後隨著溢流水流出，於沉澱池分離去除污泥。

此原理與活性污泥法同為好氧生物處理法，活性污泥法將水體中之有機物氧化去除後，至最終沉澱池沉澱污泥，再將上澄液放流，其廢棄污泥部分需迴流至曝氣槽，而旋轉生物圓盤法主要為透過微生物群附著於生物旋轉圓盤上，去除廢污水中之有機性污染物，進流水需先經沉澱分離粗大顆粒，出流水沉澱後之污泥則不需迴流，有關旋轉生物圓盤法系統圖，如圖 3-1 所示。



資料來源：【10】。

圖 3-1 旋轉生物圓盤法系統圖

2. 旋轉生物圓盤之構造

旋轉生物圓盤法之處理設備包含接觸槽，旋轉圓盤體、中心軸、驅動馬達、減速機、鏈條及覆蓋物等，其中接觸槽之製造材質多以混凝土或鐵板為主，而旋轉圓盤多使用發泡苯乙烯、聚氯乙炔及聚乙烯等物質。旋轉生物圓盤法在設計時，需考量多項條件，以達最佳處理效益，以下針對設計條件進行說明。

(1) 圓盤材質

材質多選擇具耐久性且生物膜易附著者，主要為塑膠及硬質發泡體兩種，而發泡體具浮力，可減輕設備負荷，然其面積較大需增長中心軸，導致占地面積廣。

(2) 圓盤表面形狀

最初發明時形狀以平板型為主，而後為增加其表面積，發展出其它圓盤表面形狀，如波浪型及蜂巢型，波浪型為將圓盤表面製造為波浪狀，相較於平板型，可提高約 1.2 倍之面積；而蜂巢型則為形狀形似蜂巢，相較於同直徑之平板型，可提高約 2 倍之面積。

(3) 圓盤間隔

隨處理過程之生物膜持續增厚，其之間隔將縮小，可能發生閉塞現象，而間隔較寬者可避免此問題，然以經濟效益評估則以間隔較小為佳。

(4) 浸水率

旋轉生物圓盤之浸水率約為 40 %~70 %。

(5) 液量面積比

為接觸槽寬容積與圓板面積之比。

(6) 圓盤覆蓋

為防止設備於戶外時，遭受風雨而損壞，應建設於建築物內或附有覆蓋物，且覆蓋物應具有耐蝕、拆除容易及通風等特性。

3.旋轉生物圓盤法之微生物

附著於旋轉生物圓盤上之微生物種類繁多，細菌類如 *Zooglea*、*Beggiatoa*、*Shaerotilus*；原生動物、矽藻類及藍藻類如 *Amoeba*、*Paramecium*、*Opercularia*、*Epistylis* 及輪蟲類等，依據負荷程度之生物相分類如下。

(1) 負荷偏低之生物相

主要為 *Euglypha*、*Arella* 等。

(2) 負荷適中之生物相

原生動物以 *Carchesium*、*Epistylis*、*Vorticella*、*Opercularia*、*Chinetochilum*、*Aspidisca* 等為主，輪蟲類為 *Philodina*，以及多量之細菌類如 *Zooglea ramigera*、*Sphaerotilus natans*。

(3) 負荷偏高之生物相

主要為 *Beggiatoa*、*Zooglea ramigera*、*Paramecium caudatum*、*Bodo*、*Colpidium*、*Cercobodo*、*Oikomonas*。

3.1.2 能資源效益提升方案

1.膜片式濾材

傳統應用於旋轉生物圓盤法為一系列膜片式濾材接連而成之生物膜盤組，其交換旋轉於水及空氣中，由水中有機物培養之微生物可附著於旋轉盤面上而形成一生物膜，當生物膜和廢污水接觸時可分解或消化其中好氧物，然膜片式濾材長期積累之生物膜，易產生無法脫落之情形，導致生物旋轉盤軸心斷裂及濾材崩塌，且傳統生物旋轉盤因組裝方式之差異，導致維修不易，需消費較高人力及時間成本，有關膜片式濾材及膜片式旋轉生物圓盤，如圖 3-2 及圖 3-3 所示。



資料來源：【11】。

圖 3-2 膜片式濾材



資料來源：【11】。

圖 3-3 膜片式旋轉生物圓盤

2. 新型網葉狀生物濾材

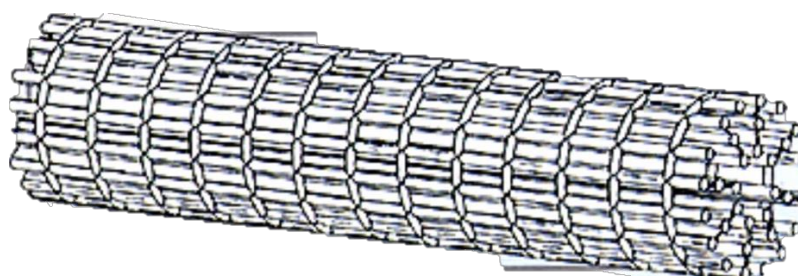
旋轉生物圓盤法之處理原理，係為由水中有機物所培養之微生物附著於盤面上，以形成生物膜，當生物膜和廢水接觸時可分解或消化其中之好氧物，然若長期積累，生物膜將有無法脫落之情形，且隨時間增長易會偏心負重，導致齒輪磨損、軸心斷裂及濾材崩塌，而傳統旋轉生物圓盤法因組裝方式之差異，導致維修不易，需將設備吊離槽體才可將濾材完全更換，其耗費較高人力及時間成本。

為改善上述之情形，透過將膜片式濾材優化改善為網葉狀生物濾材，其採用 HDPE 高密度環保材質製造而成，有關網葉狀生物濾材之性質及示意圖，如表 3-1 及圖 3-4 所示。

表 3-1 網葉狀生物濾材之性質

有效表面積	流通率	孔隙率	管徑	單位處理量
155~300 m ² /m ³	95 %	92 %	70 mm	1~3 kg/D

資料來源：【11】。



資料來源：【11】。

圖 3-4 網葉狀生物濾材示意圖

相較於傳統膜片式濾材，網葉狀濾材之粗糙表面促使生物較容易附著，以利於較短時間內形成生物膜，同時因濾材可自行轉動，不易產生生物膜無法脫落之情形，亦可降低整體載重，進而降低其耗電量，且網葉狀生物膜具有高通透性，有助於提升廢水處理之效率，有關網葉狀濾材、網葉狀旋轉生物圓盤及實場應用，如圖 3-5、圖 3-6 及圖 3-7 所示。



資料來源：【11】。

圖 3-5 網葉狀生物濾材



資料來源：【11】。

圖 3-6 網葉狀旋轉生物圓盤



資料來源：【11】。

圖 3-7 網狀式旋轉生物圓盤之實場應用

網葉狀生物濾材改善傳統膜片式旋轉生物圓盤之高附載及維修不易等特性，並減少維修時停機時間，且濾材本身可自行轉動，其各方向均可使污泥脫落不阻塞，且網葉狀濾材附著之生物膜約每 21 天為一週期規律性脫落，使生物旋轉盤設備本身維持在一定之重量，改善因生物膜長期累積而導致生物旋轉盤軸心斷裂之缺點，同時不增加馬達承載重量，以達到節能省電之效益。

網葉狀旋轉生物圓盤適用於含有高 BOD、氮化物及碳化物之污水處理，如生活污水、工業污水、養殖業循環水系統及醫院污水等，亦可應用於空氣污染防制，如餐廳除油、水霧(冷卻塔)，有關網葉狀旋轉生物圓盤之優勢及膜片式與網葉狀旋轉生物圓盤比較，如表 3-2 及表 3-3 所示。

表 3-2 網葉狀旋轉生物圓盤之優勢

優點	說明
高度彈性	對有機震動負荷與毒物外溢之抗拒力皆優於其他傳統方法，同時因廢水停留時間短，故毒性溢洩可以迅速地恢復。
占地面積小	在多數處理方法中，以使用生物膜方法占地最少。
節省電力	因轉盤速度較低(2 rpm)，故用電量極少，僅活性污泥法 1/5 之耗電量。
維護簡易	幾乎不需維護費，僅需轉動軸之定期潤滑，且若發生濾材損壞，只需抽換損壞之濾材即可恢復正常運轉。
污泥量少	因其食物鏈較長，末段常可發現輪蟲及圓蟲等生物，故污泥排放量相對減少，且濃度較高易處理。
效率高	因其濾材之粗糙表面使生物容易附著，可於短時間內形成生物膜，同時 BOD ₅ 去除率可達 90 %~98 %。

資料來源：【11】。

表 3-3 膜片式與網葉狀旋轉生物圓盤比較

膜片式旋轉生物圓盤	網葉狀旋轉生物圓盤
<p>(1) 濾材因密度較高，導致生物堆積無法清洗保養。</p> <p>(2) 生物膜無法自行脫落，使生物堆積造成軸心負重過高而損壞，且亦使馬達超負荷運轉。</p> <p>(3) 濾材因密度密集，生物堆積無法脫落，且重量過重較容易造成設備損壞。</p> <p>(4) 膜片式生物旋轉盤因組裝方式之差異，導致維修不易，且需耗費較高人力及時間成本。</p>	<p>(1) 網葉狀濾材可自行轉動，其各方向均可使污泥脫落不阻塞，不受傳統膜片式只能垂直進水之限制。</p> <p>(2) 濾材為六片組合式，發生濾材損壞時，僅需停機拆卸側邊固定片，抽換損壞之濾材即可恢復正常運轉，以利於最短時間內恢復正常操作程序。</p> <p>(3) 若於處理尖峰量時生物膜負荷過重，可使用高壓水強迫清除使生物膜強迫脫落，減輕軸心及軸之負荷，延長使用壽命。</p>

資料來源：【11】。

3.2 具體效益分析

為因應未來能資源耗竭之窘境，希冀藉由廢水處理相關製程及產品提升水資源之再利用率，以降低環境衝擊及能資源之損耗，本節說明旋轉生物圓盤(Rotating Biological Contactor, RBC)於環境面與經濟面之效益。

3.2.1 環境效益分析

我國產業分布廣泛，且廢水不易集中處理，多直接排放至河川中，而工業廢水若未經完善處理，污染物會破壞河川水質以及周圍環境，造成二次或多次環境傷害之可能性，同時因我國地形與氣候複雜，枯水期間污染物多沉積於河川，而豐水期大雨沖刷會揚起污染物，並帶至出海口沉積於沿海，透過浮游動物覓食以及食物鏈累積，最終污染物將回到人體造成健康風險並危害生態系，因此應進行水污染防治，以避免環境持續惡化。

網葉狀濾材可自行轉動，其各方向均可使污泥脫落不阻塞，不受傳統膜片式只能垂直進水之限制，因此可提升污泥生成後之處理能力，即使無初級設備，BOD₅去除率相當良好，且連續運轉 21 天後，檢測進出流水之水質，對於 COD 之去除率提升 5% 以上，有關網葉狀旋轉生物圓盤法之水質處理，如表 3-4 所示。

表 3-4 網葉狀旋轉生物圓盤法之水質處理

水質項目	改善前(去除率%)	改善後(去除率%)
COD	68.13 %	75.62 %
BOD ₅	66.14 %	78.53 %

資料來源：【11】。

3.2.2 經濟效益分析

目前經濟發展已達水資源供給量不足之現象，且水資源使用之成本越趨增高，同時我國因地形特殊、地勢環境高聳、河流坡陡湍急留水不易，使水資源開發跟不上經濟發展，因此應節約用水、並積極發展提高水資源使用及再利用效率之相關製程及產品。

本節所介紹之新型網葉狀生物濾材，可改善傳統膜片式旋轉生物圓盤因其生物膜無法自行脫落，導致高附載及維修不易等情形，且網葉狀濾材上附著之生物膜其自行脫落時間約每 21 天為一週期，使設備本身維持在一定重量，改善因生物膜長期累積而導致生物旋轉盤軸心斷裂等缺點。傳統膜片式旋轉生物圓盤之軸承使用壽命約為 3 年，然新型網葉狀旋轉生物圓盤之軸承，其使用年限可延長至 10 年，同時不增加馬達承載重量，且轉盤速度低，故用電量與活性污泥法相較只有其耗電量之 20%，進而達到節能省電之效益。

第四章 結語

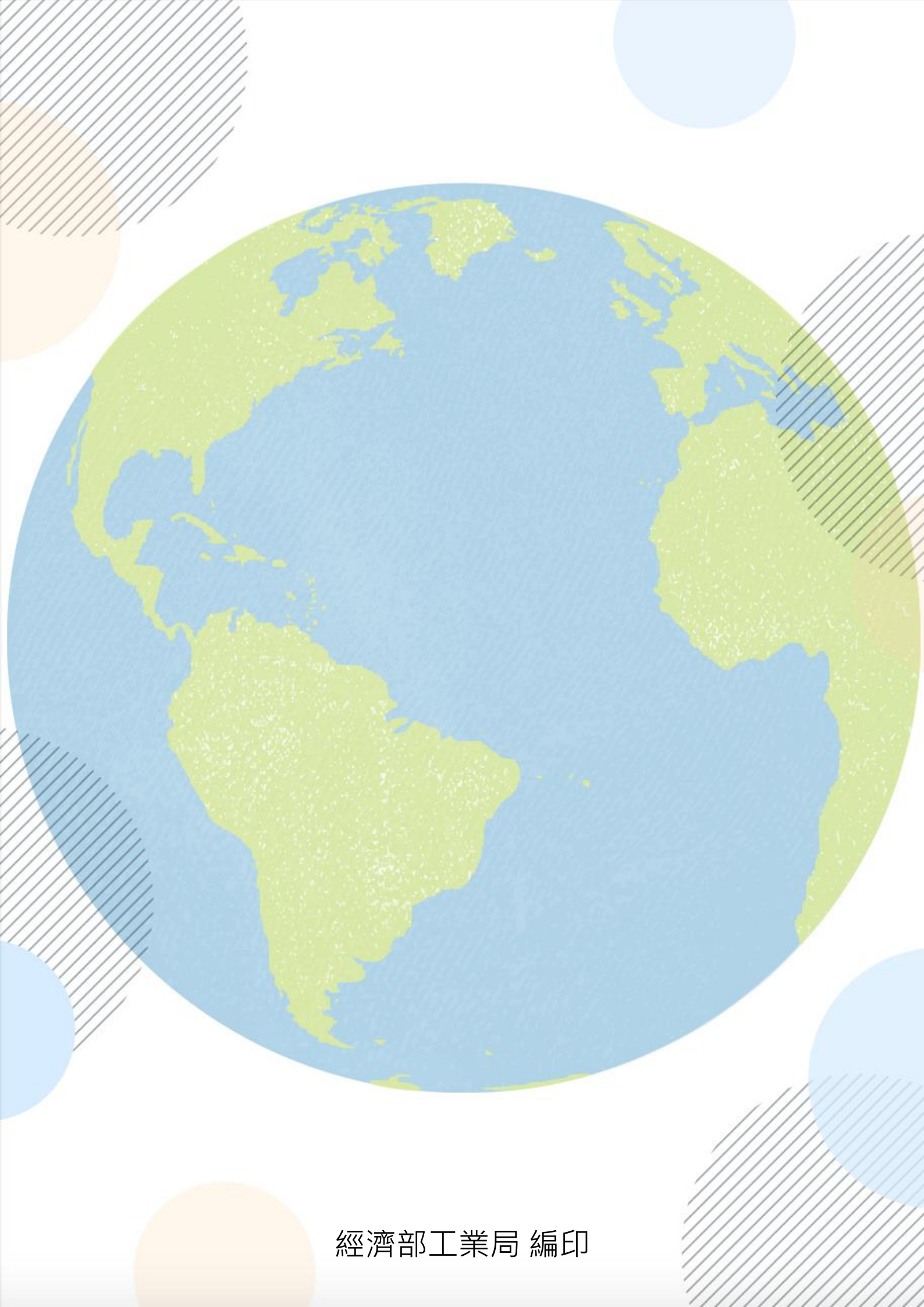
近年來隨著環境保護意識提升，現今所面臨之環境污染問題獲得高度關注，同時由於經濟高度發展導致天然資源逐漸匱乏，而民生及工業用水之需求量持續上升，且同時亦需降低各工業製程排放廢水所造成之環境衝擊，發展水處理再利用之相關製程為當前目標，以因應未來能源及資源耗竭之窘境。

旋轉生物圓盤透過微生物群附著於圓盤上形成生物膜，進而去除廢污水中之有機性污染物，而使用新型網葉狀生物濾材，因其可自行轉動，故生物膜可規律性脫落，改善傳統膜片式濾材因生物膜無法自行脫落，而導致軸心斷裂之疑慮。

現今產業之製程、處理方式與技術皆持續有創新、精進之趨勢，本手冊針對廢水生物處理製程及其相關產品之網葉狀生物濾材旋轉生物圓盤進行說明，希冀透過本手冊推廣可提供國內廠商參考應用，進而增進資源循環再利用之效率，同時我國目前持續推動環境永續及能源轉型，應用相關製程之優勢，有助於環境、經濟及社會效益之共榮發展，藉此帶動國內能資源化再利用技術之開發與研究，以達到永續發展之目標。

參考文獻

- 【1】 公務統計報表，經濟部水利署，2020。
- 【2】 工業廢水再生程序，材料世界網，2021。
- 【3】 Global Water Intelligence, <https://www.globalwaterintel.com/>.
- 【4】 建置再生水媒合與稽核系統及產業推動服務，經濟部水利署，2017。
- 【5】 國產環保暨生質能設備便覽，經濟部工業局，2019。
- 【6】 黃政賢，污水工程，2016。
- 【7】 下水道工程設施標準，內政部營建署。
- 【8】 水高級處理及再利用，台灣水環境再生協會，2016。
- 【9】 厭氧生物處理法處理有機溶劑廢液新應用，工業技術研究院，2016。
- 【10】 歐陽嶠暉，下水道工程學，2005。
- 【11】 相同企業有限公司，<https://www.similar.com.tw>。
- 【12】 台灣推動再生水利用所面臨的新挑戰及因應策略，財團法人中技社，2018。
- 【13】 李文聖，都市污水廠放流水再生利用之潛勢分析，2004。
- 【14】 重大水資源規劃作業計畫，經濟部水利署，2020。
- 【15】 水再生利用實務手冊，台灣水環境再生協會，2010。
- 【16】 非系統再生水利用技術參考說明，經濟部水利署，2017。
- 【17】 廢水生物處理程序常見問題實務探討，工業污染防治期刊，2006。
- 【18】 台灣地區水資源利用現況與未來發展問題，財團法人中技社，2010。



經濟部工業局 編印