

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

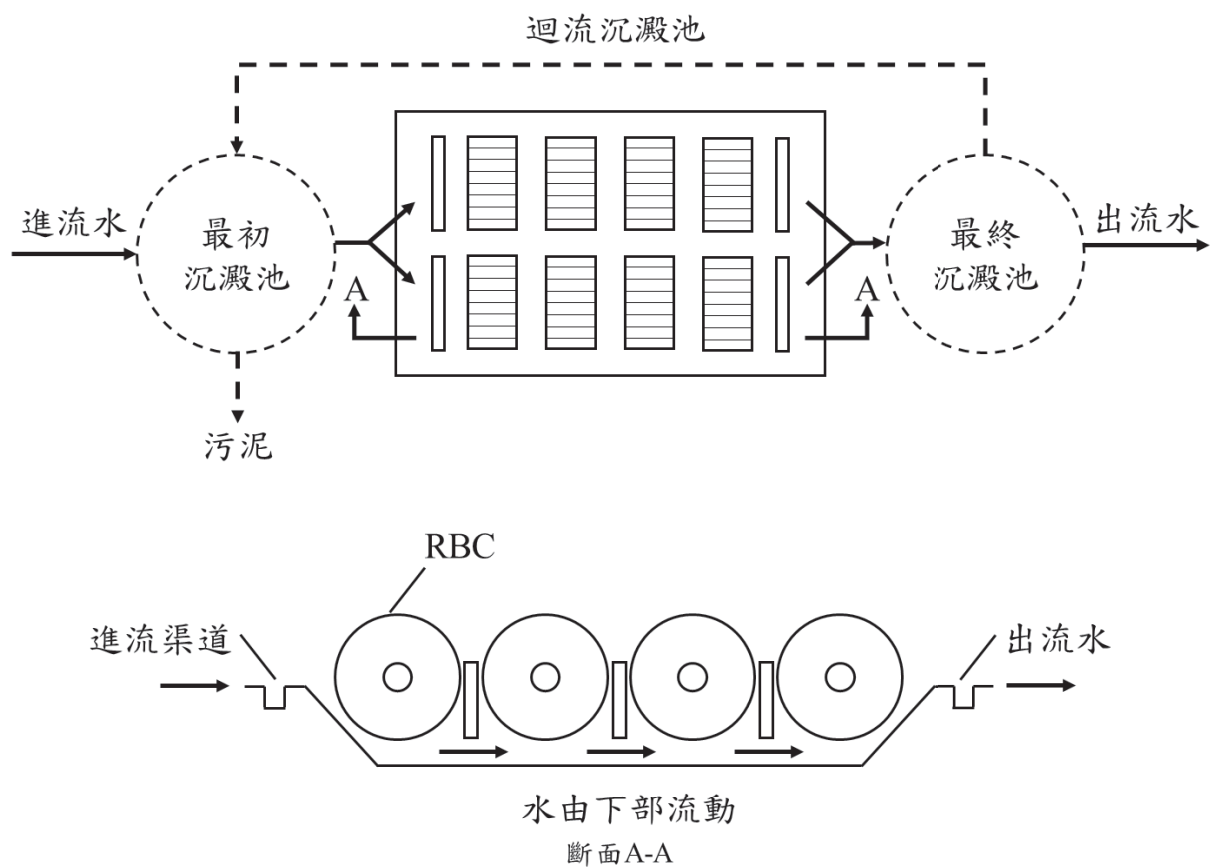
為滿足各式用水需求，水利事業每年使用蓄水設施及水源調度，皆需消耗大量能源，同時為因應水資源耗竭之窘境，需藉由相關製程及產品提升水資源再利用之效率，以有效降低環境衝擊及減緩能資源耗竭之現況，本節介紹旋轉生物圓盤法(Rotating Biological Contactor, RBC)，簡稱 RBC 法，其原理主要為利用附著於圓盤上之微生物群以去除污水中有機性污染物質之處理法，以下針對製程原理及效益提升方案進行說明。

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、聚氯乙烯及聚乙烯等物質。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

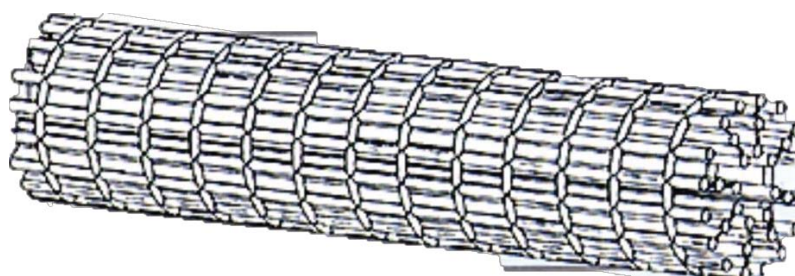
旋轉生物圓盤法之處理原理，係為由水中有機物所培養之微生物附著於盤面上，以形成生物膜，當生物膜和廢水接觸時可分解或消化其中之好氧物，然若長期積累，生物膜將有無法脫落之情形，且隨時間增長易會偏心負重，導致齒輪磨損、軸心斷裂及濾材崩塌，而傳統旋轉生物圓盤法因組裝方式之差異，導致維修不易，需將設備吊離槽體才可將濾材完全更換，其耗費較高人力及時間成本。

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

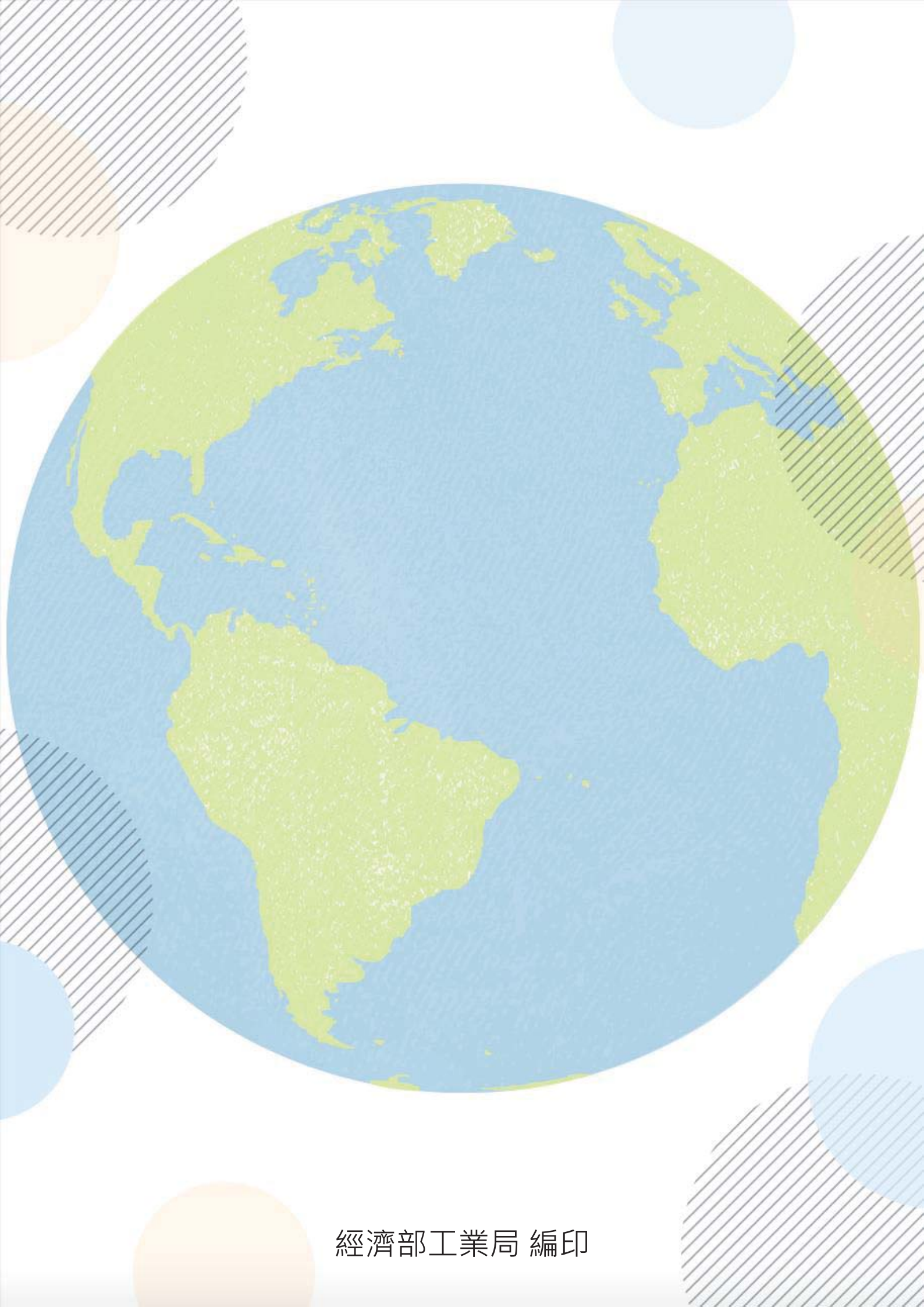
近年來隨著環境保護意識提升，現今所面臨之環境污染問題獲得高度關注，同時由於經濟高度發展導致天然資源逐漸匱乏，而民生及工業用水之需求量持續上升，且同時亦需降低各工業製程排放廢水所造成之環境衝擊，發展水處理再利用之相關製程為當前目標，以因應未來能源及資源耗竭之窘境。

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