

水回收再利用研究发展现况之回顾与评析2注册建筑师考试

PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/619/2021\\_2022\\_E6\\_B0\\_B4\\_E5\\_9B\\_9E\\_E6\\_94\\_B6\\_E5\\_c57\\_619377.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/619/2021_2022_E6_B0_B4_E5_9B_9E_E6_94_B6_E5_c57_619377.htm) 把建筑师站点加入收藏夹

3. 废水处理技术 将传统废水处理程序，如物理、化学及生物处理程序，加以多重新组合，可扮演多重屏障，以去除各种污染物，如固体物、有机物、致病菌、重金属及营养盐。就技术面而言，以传统废水处理单元结合其它高级废水处理技术，理论上可以处理任何排放水质和水量，以因应回收再利用所需水质和水量要求。传统废水处理技术，依处理方式可分为分离处理、生物处理及破坏处理（Asano and Levine, 1998）：(1)分离处理（Separation Process）：分离技术系利用污染物之化学或物理特性，将污染物从废水中分离，如浮除分离、沉淀可去除悬浮固体物及化学胶羽，过滤甚至可移除水中致病菌，作为消毒之前处理；吸附用于去除有机物；化学混凝法则藉由沉淀及过滤机制分离水中胶羽；离子交换法可应用于水的除矿（demineralization）、硬水软化（water softening），并藉由浓缩或再生回收有价物质；薄膜程序则包含微滤（microfiltration, MF）、超滤（ultrafiltration, UF）、逆渗透（reverse osmosis, RO）、奈滤（nanofiltration, NF）、电透析（electrodialysis, ED）及薄膜生物程序（Membrane Bioreactor, MBR）。(2)生物处理（Biotreatment technology）：微生物以悬浮生长或固定生长的型式，与废水中的溶解性或悬浮性有机物接触，利用微生物代谢之方式，将污染物分解以提供微生物的生长，同时达到去除或降低污染之目的。(3)破坏处理（Destruction Process）：以生物处理法或物化方法

，如混凝沉淀、活性碳吸附，处理水中所含之污染物，在处理及应用上皆有其限制，且对于污染物之去除仅为相转移，而非破坏分解。随着污染物处理技术观念之演进，处理技术目标朝向完全破坏去除污染物之方向发展。相关处理技术，包括氧化还原法，氧化可使废水中部分有机物分解，且有消毒及杀菌作用，常用于废水处理之氧化剂，包括空气、氧气、臭氧、氯、次氯酸盐及二氧化氯等；常见之消毒方式为化学消毒法，系于废水中添加氧化能力强的化学品，如氯气、臭氧、过氧化氢或溴，以消灭水生细菌、病毒、阿米巴囊虫及原虫等致病菌；此外，紫外线消毒已被视为可以替代传统化学消毒程序（Darby et al., 1993）。回收再利用系统，建立于废水处理技术之基础上，故提升废水处理技术效能，为近年来重要之研究课题。此外，可依废水水质特性及所要求处理程度的不同，选用单一或混合处理方法，加入现有废水处理设施中，提升处理效率与降低操作成本，达到回收再利用之目的。我国环保署为因应水资源匮乏问题，除放宽污水补注地下水、废污水土壤处理的限制外，并藉由增加用水成本，以提升废污水回收再利用。此外，亦积极推动节约用水之行动与政策，并期透过废污水回收再利用、都市下水道污水回收灌溉等方式，以满足全台用水需求量。

### 三、国内外水回收再利用研究发展现况

水回收再利用系统中，处理技术之选择及各单元组合方式，依所处理的对象、目的不同而有所不同，除在技术面须考量各程序之处理效能，所回收之处理水是否能达到水再利用之要求外，亦必须将经济诱因及健康风险纳入加以评估，以建立一高处理效率、低操作成本之水回收再利用系统。本研究汇整分析自2000年迄今，水回收再利

用之相关文献，认为近几年来水回收再利用之研究发展趋势可分为三大方向，分别为高级处理程序之应用、新技术之研发以及模式评估，说明如下。

1. 高级处理程序之应用 可作为回收再利用之原水水源，包括工业废水、都市污水及其它水源，其中以染整工业废水及食品工业废水应用最广且相关研究亦最多。受限于废水处理技术之效能，以传统废水处理单元，处理各类别废水，并无法达到水质及降低人体健康风险之需求，故以初级、二级处理技术为基础，导入高级处理程序，以提升处理效能，可增进回收再利用系统之处理效益，为水回收再利用之研究重点之一。常见之处理技术包括：

(1) 过滤/吸附/砂滤：在Voigt et al., (2001) 的研究中，利用前处理-过滤-UV消毒之配套流程，针对食品工业废水进行脱盐及有机物去除，处理水可回收做为锅炉及清洁用水。Hamoda et al., (2004) 以砂滤作为三级处理单元，处理活性污泥放流水，操作一年后，系统可稳定的去除95% SS以及99% 之BOD及COD，回收水可应用于灌溉。Ramirez Camperos et al., (2004) 建立过滤-吸附-RO/离子交换处理流程，去除饮料工业清洗用水中所含的污染物，COD去除率可达80%，TDS为75%，回收率提升为50%。以砂滤配合加氯消毒单元，处理社区污水处理场之二级放流水，在BOD、臭味、色度及外观上无法达到水回收再利用之参考标准，若改以臭氧消毒，则除可达到再利用标准外，同时对大肠杆菌及浊度的去除有相当之助益（倪振鸿等人，2001）。

(2) 离子交换/电透析：Jacek and Grazyna (2001) 以电透析及离子交换作为基本处理单元，藉由单元程序组合的改变，如二阶段电透析；电透析-阳离子交换；阳离子交换-二阶段电透析，探讨最适操作

流程以处理废酸或含金属盐类溶液。研究指出，以阳离子交换-二阶段电透析，可得最佳水质，然因树脂再生液使用量大，操作成本反较其它二者为高。（3）好氧-缺氧-厌氧程序：Ahn et al., (2003) 利用好氧-缺氧-厌氧MBR去除家庭生活污水中所含之营养盐，磷的去除可达93%，而氮则为60%。Cheng et al., (2004) 以厌氧消化方式处理含高浓度COD 18,000 mg/L、TKN 1,600 mg/L、TP 360 mg/L之畜牧废水，处理过程中可回收沼气作为能源，且处理水可做农业用途生产蕃茄。郑幸雄等人（2003）利用三段式流体化床生物程序，包含高温厌氧反应槽、脱硝槽及硝化槽，处理压克力纤维制程废水，实验证实COD去除率在90%以上，硝酸氮去除率高于97%，有机氮去除率介于60% ~ 80%间，显示有一定程度的处理效率。陈重男等人（2002）则利用无氧/好氧MBR程序处理都市污水，COD去除率可达97%，总氮及SS则为88及100%。（4）薄膜程序：Ismail et al., (2004) 以NF单元，处理含有高NaCl及染料、色度浓度之染整废水，处理水经回收后可再进入制程中被使用，估计两年内可回收单元设置及操作成本；Frank et al., (2002) 以二阶段NF去除染整工业废水中98%之色度，使水回收率达90%；而Tang and Chen (2002) 同样以NF处理染整废水中电解质及色度，水回收率可达99%。由于制革工业之制程中使用大量化学药品，故制程废水即使经过二级处理，出流水仍含有大量之TDS及有机物，无法以传统之处理程序处理。Suthanthararajan et al., (2004) 使用RO单元，去除98% TDS，回收率提升为78%，若将NF结合RO单元，除可提升回收率外，亦可延长薄膜寿命以及增加渗流量。Low et al., (2003) 指出，以传统混凝及沉淀处理电视映像

管制程废水，有高成本及大量污泥产生之缺点，若改以薄膜程序处理，则浓缩液中的碳微粒可在回收应用于制程中，处理水亦可再被使用。Noronha et al., (2002) 结合MBR可去除有机物，及NF可移除无机物之优点，辅以UV消毒，可使果汁工业制程废水回收作为冷却或锅炉用水。而乳制品产业废水，因其含有部分牛乳，故水中COD增加，使用RO或NF需再结合其它单元，才能使处理水符合再利用标准 (Béatrice, 2002)。在Miyagi and Nakajima (2002) 的研究中，利用UF处理含矿油及非离子性界面活性剂 (APE) 之乳化废水，结果显示，UF薄膜系统可去除97% 矿油及90% APE。Mutlu et al., (2002) 使用 $0.8 \mu\text{m}$  MF结合400Da之NF，处理含有大量BOD、4000 mg/L COD及11000 Pt-Co色度之面包发酵工业废水，实验结果可使废水色度去除率达到89%，而COD去除率则为72%。Karabelas et al., (2001) 考虑技术及经济条件，选用RO作为处理肥料工业废水之主要单元，浓缩液中所含之化学物可回收再利用于制程中，而处理水可作为冷却水水源。Alan et al., (2000) 利用UF-RO程序处理中水及雨水，处理水经消毒单元后可做为厕所冲洗水，其中中水由于含较多有机物质，故进入薄膜组合程序前，需先经生物滤床进行前处理。Otaki et al., (1998) 以河川水为处理对象，认为UF系统对E. Coli的去除率可达100%；而Bian et al., (1999) 发现，单独利用UF处理河川水，并无法有效去除水中腐植质，若配合预混凝程序，则去除率可达80%，或利用MF配合活性碳吸附，可增进腐植质之去除效率。黄信仁等人 (2001) 发现，经适当前处理后，以不同操作压力进行UF操作，能使半导体业之化学机械研磨废水浊度，降至0.5 NTU以下，所得之澄清液，可回收利

用于非制程系统，甚至进入纯水系统进一步纯化再利用。江万豪等人（2001）以UF薄膜结合混凝前处理，回收CMP废水。结果显示，混凝的确可增进浊度、TOC的去除率，采用薄膜分离技术回收CMP废水，适当的混凝前处理不但增加废水回收效率、延长薄膜操作滤程，且省下沉淀池的用地。

在Chen and Chen ( 2004 ) 研究中，以MBR结合RO程序处理液晶显示器工业废水，COD去除率可达97%、TOC为98%，BOD则为99%，处理之回收水可作为冷却水或其它功能用水。黄益助等人（2001）利用混凝沉淀作为实验前处理，再配合逆渗透分离的技术来净化经二级处理之放流水，评估薄膜技术应用在水回收再利用具有可行性。（5）其它：Rubio et al., ( 2002 ) 利用浮除法去除矿场、冶金工业废水中所含之污染物、粉末颗粒、金属离子油脂、有机物及少量有价金属，发现具有低污泥量且高分离效果。Al-Jamal et al., ( 2002 ) 以人工湿地去除废水中所含之污染物，并将处理水应用于灌溉，可回收营养盐、有机物做为植物生长之用，并维持水源涵养量，以此系统模式可处理都市污水。人工湿地可应用于去除水产养殖废水中所含之营养盐，可使总氮去除达95-98%，总磷为32-71%，使养殖用水循环再利用（Lin et al., 2002）。单以人工湿地处理工业废水，则因水质特性，处理效果有限，可于添加生活污水提供湿地生态系统发展之所需，促进处理效率（林欣怡及杨磊，2000）。而人工湿地亦可取代传统处理方式处理垃圾渗出水（蔡凯元及杨磊，2003）。事实上，各废水处理技术，在操作上皆有其瓶颈，且在水回收再利用之应用上，受限于原水水质及回收水质需求，表3整理各再生水源应用于不同回收用途之适用处理技术。都市污水中污染

物多为有机物、致病菌，以及氮磷等营养盐，多以生物处理配合消毒单元，使回收水可做农业灌溉及厕所冲洗水等用途；厌氧消化法，可处理高浓度有机物废水，适用于处理畜牧废水。工业废水水质特性依业别及制程而有相当大的差异，其中染整废水、食品废水及化学机械研磨废水，由于废水量大，水之回收再利用亦格外引人关注。染整废水中含有大量之有机物极高色度，利用薄膜程序如NF或RO可有效去除水中色度及有机物，回收水可再导入染色制程中使用；食品废水中多为生物可降解有机物，藉由MBR结合薄膜程序，并辅以消毒单元，所处理水质可做为锅炉或清洁用水；而化学机械研磨废水中，污染物主要成分为无机物，以电化学混凝，处理水可用作冷却用水，若以混凝前处理结合RO，处理水甚至可进入纯水系统，作为纯水水源。

2. 新技术之研发 随着人类生活模式的转变，工业产品及制程发展的多样化，经由人类活动所排放至环境中的污染物质，其种类及性质亦有相当程度的改变。传统的废水处理流程，为一系列物理、化学、生物以及污泥最终处理等程序单元的组合，然其处理过程冗长繁琐，成本居高不下，在操作上常会有许多限制。近年来，建立可靠处理技术，以产生高品质及稳定水源，相关研究有逐年增加之趋势。本文提出四项新兴废水回收再利用处理技术，以做说明。

(1)高级氧化程序 (Advanced Oxidation Processes, AOPs) 之定义为，当溶液中有机物发生氧化反应时，可产生氢氧自由基等活性中间产物，并以此破坏目标污染物，或中间产物之程序，可有效的去除难分解有机物，达到将污染物破坏分解之目的。而这些程序时常结合强氧化剂如臭氧、过氧化氢；催化剂如过渡金属离子；或光催化剂及射

线（UV、超音波或电子束），因而可形成各种组合。常被使用之AOP处理程序，在这些氧化程序中最主要的起始攻击均为氢氧自由基Dur á n et al., ( 2004 ) 以Electro-Fenton处理都市污水及实验室废水之混合水，去除率COD可达65-75%、浊度77-92%、色度80-100%，且无细菌残留。此外，Raffaele et al., ( 2002 ) 研发反应器设计，将光催化程序结合薄膜单元，用于水纯化系统，可改善处理效率。陈孝行等人 ( 2001 ) 利用Fenton程序可降低染整废水中有机污染物及色度之优点，结合RO薄膜程序，可使处理水质符合染整工业再利用标准，并建议将放流水与地下水混合，再以RO处理后进入制程中，可降低处理成本。(2)电聚浮除法 ( Environmental Protection Navigator, EPN )，是利用电化学、流体力学及电子学等，相关技术结合而成的处理技术。电聚浮除法可强化电荷凝聚之特性，使杂质在水中产生自凝作用，同时杂质粒径又能成长形成胶羽，再予以去除。以电聚浮除法结合加氯消毒或是离子交换，处理啤酒工业之二级出流水，依处理程序之不同，回收水可做为河川补注、厕所冲洗水或是景观用水之用 ( 李俊德等人，2000 )。(3)电化学混凝系利用直流电的供应，由牺牲性阳极 ( 通常为铁或铝电极 ) 释出铁离子或铝离子，取代传统之铁盐或铝盐混凝剂，产生混凝效果，可有效去除水中不稳定之胶体颗粒 ( Chen et al., 2002. Larue et al., 2003 )，且所需之机械搅拌动力，可被电解过程中解离及分散效果所取代。此外，在电解过程中，静电磁场所产生之消毒效果，为此一程序另一项优点。李俊德等人 ( 2003 ) 则认为半导体化学研磨废水经电化学混凝程序处理，可作为循环冷却用水，若再经加氯、臭氧或UV消毒可回收做为景观用水或厕所冲洗

水，甚至回收进入超纯水制程。此处理方法可节省大量混凝剂、运送及贮存之成本，且操作与维护简单，适用于小型社区，与传统胶凝程序比较，可减少潜在操作成本超过40-45%，并能降低卤化有机物先驱物，减少中重金属浓度及消毒用氯量，以达到加强环境保护目的。(4)冻结分离法，利用溶液冻结时，纯水比杂质先凝固析出之原理，将废水冷冻成较纯净的冰与最终含水率低的污泥饼，达到分离杂质之目的(Jensen and Mullin,2003)。分离后的回收水(冰)可供低温制程或空调系统之冷却能再利用，亦可视回收量与处理水质，供制程用水使用(谢文德，2003)。传统的废水处理程序所产生之大量污泥，若以传统的污泥处理方式，仅能将其自由水移出，无法移出污泥胶羽中的间隙水、表面水及结合水，因而保有85%的含水率，且体积过大，处置不易。将冻结分离技术应用在污泥处理，可破坏污泥胶羽结构，让其内部的自由水、间隙水、表面水及结合水被移出，使最后的污泥量降至最低(减量)，获得较佳之结果。

3. 模式评估模式之建立，除了作为系统可行性之评估外，亦可用以分析所选择之处理单元适用性。Rosario et al., (2003)依用水需求建立数学模式，藉由输入用水水价、处理成本以及处理水放流之负担成本，评估以人工湿地处理都市及食品工业废水之合理性，研究结果显示以人工湿地作为处理手段，在水回收再利用之应用上，具有相当之潜力。Cornel and Weber (2004)利用模式仿真都市污水处理场活性污泥单元，评估出流水作为灌溉用水之可能性。研究指出，作为灌溉用水之出流水质可容许少量之营养盐存在。都市污水之二级处理出流水，经加氯消毒单元后可做为河川补注之用，Funamizu et al., (2004)针

对补注水所残存的余氯，以数学模式探讨放流水中余氯与河川中有机物之反应行为，对水体中生态的影响。Juanicó and Milstein (2004) 以好氧/厌氧生物程序处理都市污水，BOD去除率约为75-80%，且产生污泥量少，处理水可应用于灌溉。以此程序结合之概念，可以活性污泥法或滴滤床取代好氧池；以厌氧污泥床取代厌氧槽，同时结合湿地设施去除水中所含藻类。此组合程序可同时分解BOD及难分解物质，较一般活性污泥法省能源，土地利用面积亦少于需长期操作之氧化渠。传统废水处理程序，仅能使废水水质达到放流水标准，而无法被再利用于制程或其它用用途。为达水回收再利用之目的，依所处理的对象、目的不同，以现有技术为基础，利用模式评估各单元程序之最适组合，使处理水质达到需求，为水回收再利用之研究重点。此外，为突破现有技术之应用瓶颈，各新兴技术亦被研发引用，以作为水回收再利用之处理。

#### 四、水回收再利用未来研究发展趋势

废水之处理、回收再利用，由于受到原水水质、水量、成本以及法规之限制，故必须从技术及经济层面考虑系统之适用性。图3为Alegre et al., (2004) 所提出之水回收再利用系统分析概念，根据原水水质及水量，以现有技术以及处理规模，建立水回收再利用流程，处理流程需考虑再利用之用途及水质水量需求。处理技术之选用系以处理效率及可靠度为依据，此外，必须衡量处理设备及操作维护成本。针对所拟定之水回收再利用方案，评估水回收效率、成本降低及废弃物减量，并经修正处理程序，可得最适处理系统。现有之水回收再利用相关研究方向，以技术面考量为主，着重于建立最适操作单元组合及流程，使处理水质达到水回收再利用标准，对于经济面及人

体健康风险相关评估着墨较少。实际上，水回收再利用系统中，处理技术之选择及各单元组合方式，除在技术面须考量各程序之处理效能，所回收之处理水是否能达到水再利用之要求外，亦必须将经济诱因及健康风险纳入加以评估，以建立一高处理效率、低操作成本之水回收再利用系统。将资源管理之理念，用于架构水回收再利用系统，在水回收再利用之推广及水资源保育上，具有相当程度之助力。

## 五、结论与建议

台湾地形地势陡峭，坡陡流急，水资源蓄积本已不易，由于时有降雨量不足之情况发生，导致近年来每逢枯水期，经常有严重的缺水现象，民众饱受缺水之苦。相较于其它国家，台湾地区水价偏低，就工厂投入制造生产的总成本而言，水费所占的比例不高，但一旦遭逢缺、限水危机时，所面临的损失，却常令业主难以消受，尤以高科技产业所蒙受的损失最为可观，连带限制我国高科技产业之发展。废水回收再利用，除可达到水资源之永续使用外，可以达到许多目的，最显著的可以归纳如下：

1. 可以处置废水，且经由出流水灌溉使农作物生长；
2. 取代其它水资源的需求；
3. 一种具经济效益之废水处理及处置方法；
4. 提供区域性经济发展所需之供水；
5. 增强环境保护。

综合而言，效率用水管理、用水减量、加强回收利用以及寻求替代水源，为水资源管理之重要理念，而水回收再利用相关研究发展方向，可归纳为下列几点重点：

1. 应用高级氧化程序以提升处理效率与降低操作成本；
2. 整合现有处理技术，协调各单元程序，架构最适处理流程，以符合水质要求；
3. 研发新兴处理技术，以达到处理废水之目的，并符合未来水资源调配需求；
4. 引入自动化控制、实时监测技术，以减低人力需求，并建立操作效能模

式。 100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。 详细请访问 [www.100test.com](http://www.100test.com)