

<p>111 年 11-12 月號</p>			<p><雙月刊></p>
---------------------------	---	--	--------------------

環境工程技師公會會訊

- ◎ 發行人：楊基振
- ◎ 發行所：台灣省環境工程技師公會 (<http://www.tpeea.org.tw>)
- ◎ 協助策劃：中華民國環境工程技師公會全國聯合會
- ◎ 編輯：台灣省環境工程技師公會學術委員會
- ◎ 主編：曾寶山
- ◎ 發行地址：台北市長安西路342號4樓之1
- ◎ 電話：02-25550353
- ◎ 傳真：02-25591853

本期要目

	頁次
■ 主編的話	2
■ 會務報告	3
■ 重要法令	4
■ 行政院公共工程委員會核備 111 年 11 至 12 月訓練積分課程表	6
■ 環保訊息	9
■ 論述園地	12
離心式泵浦各部位損壞的原因-陳伯珍技師	12
二氧化碳減量(捕獲、封存及回收再利用)技術探討-江彥雄博士	40
■ 徵稿啟事	55
■ 各公會會員大會、理監事會會議紀錄	56

主編的話

時近歲末，疫情趨緩，為連繫技師間的交流與情誼，省公會預定於歲末辦理聯誼餐敘，並配合「111 年度土壤及地下水污染調查暨整治技術講習」，於各場講習會後分別於高雄、台中及台北辦理歲末聯誼聚餐活動，日期如下：12/10 南區場晚餐、12/17 中區場晚餐、12/24 北區場晚餐。

另全聯會及省公會近期將辦理「111 年度土壤及地下水污染調查暨整治技術講習」，分別於 12/10 南區場、12/17 中區場、12/24 北區場，歡迎各位技師踴躍參加，吸收專業新知。

本次學術園地邀稿兩篇：

第一篇為-陳伯珍技師(淡江大學水環系副教授)分享「離心式泵浦各部位損壞的原因」，本篇從離心式泵浦各部位損壞的原因導入，系統性的反饋於設計泵浦時必須著墨注意的重點，包括最基本泵浦性能曲線 BEP 點的選用、避免如穴蝕損壞管路(設計或安裝不當)、NPSH、出水管偏心縮管設計考量。因此，如何設計泵浦進行合理配置、選用泵浦與計算分析，是影響給污水加壓系統工程，整體設施是否流暢運轉、使用壽命及維護管理等面向，極為重要也是經常面臨的設計課題。前述的泵浦設計重點與細節闡釋相當清楚，詳細閱讀後將會有更好的設計觀念及實務上的增長，助益匪淺。

第二篇為江彥雄博士所撰之二氧化碳減量(捕獲、封存及回收再利用)技術探討，有關碳排、碳權等議題為世界潮流，相關的商機也方興未艾，近期業界已有在洽詢是否有技師可以協助企業設計，使溫室氣體淨排放為零的顧問公司或事務所，符合台大蔣本基老師先前所言，碳排的技術及設計會是非常巨大的商機。承前，江博士本篇論述碳的捕獲、封存及回收再利用的技術探討，提供對於此新興的環工技術的發展趨勢，獲得良好的啟發與理解碳減量的相關技術。

會務報告

1. 中華民國環境工程技師公會全國聯合會於 12 月 10 日、17 日及 24 日分別於高雄、台中及台北舉辦 111 年度土壤及地下水污染調查暨整治技術講習，敬請踴躍參加。
2. 本會配合全聯會「111 年度土壤及地下水污染調查暨整治技術講習」，於各場講習會後分別於高雄、台中及台北辦理歲末聯誼聚餐活動，歡迎會員踴躍參加。
3. 112 度常年會費繳費通知及記事本已於 111 年 11 月 9 日寄出，敬請尚未繳納 112 年度常年會費（金額 4,000 元）之會員儘速繳納。

公會匯款資訊如下：

- 戶名：台灣省環境工程技師公會
 - 銀行匯款資料：台灣企銀(050)營業部 帳號：01012241581
 - 郵局劃撥帳號：18091292
4. 會員若有更動執業資料、受聘公司、地址、電話、Email…等相關資料，煩請告知公會以便及時修改檔案。
 5. 公會網站廣告刊登：
 - (1) 費用：
 - 會員(即會員之執業機構、所營公司或受聘公司)：
5,000 元/年；一次繳交 5 年 20,000 元；一次繳交 10 年 37,500 元。
 - 非會員：
6,000 元/年；一次繳交 5 年 24,000 元；一次繳交 10 年 45,000 元。
 - (2) 刊登辦法：
請繳交費用後，將貴公司或事務所之 LOGO(尺寸：288*93)及網址 MAIL 至公會。
 6. 會訊廣告刊登：
 - (1) 費用：8,000 元/期
 - (2) 刊登辦法：
請繳交費用後，將投放廣告內容 PDF 檔(尺寸：A4 紙) MAIL 至公會。

重要法令

行政規則公告

1. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 2 日院臺環字第 1110026780 號函，預修正「國家化學物質管理會報設置要點」第 3 點，自即日生效。
2. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 6 日環署檢字第 1117105630 號公告，預告修正「機動車輛排放空氣污染物及噪音檢驗測定機構管理辦法」第 21 條、第 26 條草案。
3. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 7 日環署檢字第 1117105610 號公告，預告修正「環境檢驗測定機構管理辦法」部分條文草案。
4. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 12 日環署空字第 1111118054 號令，廢止「淘汰二行程機車及新購電動二輪車補助辦法」。
5. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 12 日環署空字第 1111119641 號令，廢止「機車汰舊換新補助辦法」。
6. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 14 日環署督字第 1111122578 號函，修正「行政院環境保護署垃圾焚化廠焚化底渣再利用查核要點」第 3、5、6 點，自即日生效。
7. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 15 日環署授檢字第 1117106042 號公告，預告訂定「廢棄物中石綿檢測方法 (NIEA R401.23C)」草案。
8. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 15 日環署授檢字第 1117106055 號公告，預告廢止「含石綿物質及廢棄物中之石綿檢測方法 (NIEA R401.22C)」。
9. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 23 日環署土字第 1111119600 號令，修正「土壤及地下水污染場址改善審查及監督作業要點」部分規定及第 10 點附件 3，自即日生效。
10. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 28 日環署基字第 1111103042 號公告，預告訂定「網際網路購物包裝限制使用對象及實施方式」草案。
11. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 29 日環署授檢字第 1117106538 號公告，預告訂定「深層大口徑地下水井採樣方法 (NIEA W105.51B)」草案。
12. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 29 日環署授檢字第 1117106539 號公告，預告廢止「深層大口徑監測井地下水微洗井採樣方法 (NIEA W105.50B)」。
13. 行政院環境保護署民國 111 年 9 月 29 日環署基字第 1111126853 號函，訂定「行政院環境保護署廢機動車輛粉碎分類處理業興建熱能利用廠專案申請補貼審核要點」，自即日生效。
14. 行政院環境保護署 111 年 9 月 29 日環署基字第 1111017393 號函，訂定「應回收廢棄物回收處理業專案貸款信用保證及利息補貼實施要點」，自 112 年 1 月 1 日生效。
15. 行政院環境保護署民國 111 年 10 月 4 日環署循字第 1111111106 號公告，訂定「限制含石綿產品輸入」，並自中華民國一百一十二年五月一日生效。

16. 行政院環境保護署民國 111 年 10 月 4 日環署化字第 1118117778 號公告，預告修正「列管毒性化學物質及其運作管理事項」公告事項第五項、第十四項及第一項附表一、第二項附表二、第三項附表三、第四項附表四草案。
17. 行政院環境保護署民國 111 年 10 月 11 日環署土字第 1111133979 號令，修正「防止貯存系統污染地下水體設施及監測設備設置管理辦法」第十五條。
18. 行政院環境保護署民國 111 年 10 月 12 日環署空字第 1111126877A 號公告，預告修正「聚氨基甲酸脂合成皮業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」草案，其名稱並修正為「聚氨基甲酸酯塗布業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」。
19. 行政院環境保護署民國 111 年 10 月 13 日環署綜字第 1111138562 號函，修正「行政院環境保護署專業獎章頒發作業要點」第 2 點附表，自即日生效。
20. 行政院環境保護署民國 111 年 10 月 18 日環署綜字第 1111136968 號公告，預告修正「環境影響評估法施行細則」第 12 條附表 1 草案。
21. 行政院環境保護署民國 111 年 10 月 19 日環署土字第 1111138764D 號令，修正「土壤污染評估調查人員管理辦法」第六條、第十三條。
22. 行政院中華民國 111 年 10 月 21 日院授主基法字第 1110201774A 號令，修正「資源回收管理基金非營業基金部分收支保管及運用辦法」部分條文。
23. 行政院民國 111 年 10 月 24 日環署水字第 1111134111A 號令，修正「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第 70 條之 3、第 70 條之 5、第 70 條之 8 條文。
24. 行政院環境保護署中華民國 111 年 10 月 25 日環署化字第 1118120429 號公告，預告修正「環境用藥許可證申請核發作業準則」第 4 條草案。

行政院公共工程委員會核備 111 年 11 至 12 月訓練積分課程表

*本項課程表係轉達工程會核備之積分課程資訊，細節請技師先進洽詢主辦單位

序號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡電話
1	環境分析技術(第 65 期)講習會-桃園場	2022/11/10~ 2022/11/10	社團法人中華民國環境分析學會	聯絡人：施侑萱 電話：03-5207581 信箱：ceas@ms22.hinet.net
2	市區道路無障礙設計講習課程	2022/11/10~ 2022/11/11	國立中央大學 土木工程系	聯絡人：陳小姐 電話：03-4262538 信箱：chm091179@gmail.com
3	環境分析技術(第 65 期)講習會-高雄場(本課程實體為主，網路視訊視疫情情形而定)	2022/11/11~ 2022/11/11	社團法人中華民國環境分析學會	聯絡人：施侑萱 電話：03-5207581 信箱：ceas@ms22.hinet.net
4	【高雄班】物價調整補貼款計算與契約變更、追加工作、價金調整	2022/11/11~ 2022/11/11	中華國土人才培訓股份有限公司	聯絡人：林小姐 電話：0223628111 信箱：clptc@clptc.com
5	建築能效評估系統與建築節能改善技術推廣講習會第三場「本課程有採用視訊或網路教學」	2022/11/11~ 2022/11/11	財團法人台灣建築中心	聯絡人：鄭卉妤 電話：0286676222#184 信箱：family@tabc.org.tw
6	工期展延、爭議與求償要領+採購各階段作業可能產生錯誤行為態樣	2022/11/11~ 2022/11/11	中華產業發展與品質管理協會	聯絡人：蔡專員 電話：07-5566909 信箱：service@iqma.org.tw
7	111 年度仲裁人訓練講習會	2022/11/12~ 2022/11/19	社團法人中華工程仲裁協會	聯絡人：郭素玫 電話：(02)8712-3368 信箱：grace_kuo@actionip.com
8	111 年度鑑定講習會	2022/11/12~ 2022/11/12	高雄市土木技師公會	聯絡人：洪麗秋 電話：07-5520279 信箱：kpcea@ms27.hinet.net
9	經營美國工程市場經驗及爭取商機策略座談會	2022/11/15~ 2022/11/15	社團法人中國工程師學會	聯絡人：蔣雪芬 電話：02-23925128 分機 16 信箱：fenza@cie.org.tw
10	預見未來 10 年園藝技師產業人才脈動「本課程有採用視訊」	2022/11/16~ 2022/11/16	臺灣省園藝技師公會	聯絡人：黎方明 電話：0934030459 信箱：Thta27087399@gmail.com
11	新加坡工程仲裁專訓分享研討會「本課程有採用視訊或網路教學」	2022/11/16~ 2022/11/16	社團法人中國工程師學會	聯絡人：梁愛倫 電話：02-23925128 分機 12 信箱：secretariat@cie.org.tw
12	財物統包標案、工程統包標案-發包、評選、履約、驗收關鍵與疑難解決	2022/11/16~ 2022/11/16	中華國土人才培訓股份有限公司	聯絡人：林小姐 電話：0223628111 信箱：clptc@clptc.com

序號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡電話
13	第 44 屆海洋工程研討會	2022/11/17~ 2022/11/18	國立中山大學	聯絡人：張馨予 電話：0752520005073 信箱：yuchang@mail.nsysu.edu.tw
14	大氣腐蝕及防蝕技術應用研討會	2022/11/17~ 2022/11/17	中華民國防蝕工程學會	聯絡人：吳慧真 電話：02-82731575 信箱：anticorr@seed.net.tw
15	大氣腐蝕及防蝕技術應用研討會	2022/11/17~ 2022/11/17	中華民國防蝕工程學會	聯絡人：吳慧真 電話：02-82731575 信箱：anticorr@seed.net.tw
16	工程法務系列-工程施工中所生之損鄰、職災及廠商無法履約之因應策略	2022/11/18~ 2022/11/18	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：楊小姐 電話：02-89195033 信箱：cindy.yang@tcricri.org.tw
17	滯洪池與植生工程規劃設計與實例探討講習會	2022/11/20~ 2022/11/20	高雄市土木技師公會	聯絡人：詹美華 電話：07-5520279 信箱：kpcea@ms27.hinet.net
18	出流管制規劃書及計畫書編撰重點講習會	2022/11/20~ 2022/11/20	高雄市土木技師公會	聯絡人：詹美華 電話：07-5520279 信箱：kpcea@ms27.hinet.net
19	Fastening On Steel 在土建工程的應用與案例分享 (本課程以實體為主, 網路視訊視情況而定)	2022/11/22~ 2022/11/24	喜利得股份有限公司	聯絡人：王威捷 電話：02-6630-0323 信箱：andy.wang@hilti.com
20	大地工程系列-基樁施工方法與試樁工程實務	2022/11/24~ 2022/11/24	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：胡小姐 電話：02-89195094 信箱：vicky@tcricri.org.tw
21	WELL AP 國際健康建築專業顧問線上輔導班	2022/11/24~ 2022/11/25	綠矩整合有限公司	聯絡人：吳依蓁 電話：04 2321 8867 信箱：jennywu@greenmatrixes.com
22	高精度監測預警系統研討會「本課程有採用視訊或網路教學」	2022/11/24~ 2022/11/24	台北市測繪業商業同業公會	聯絡人：林立義 電話：02-8751-0577#2853 信箱：jessie@i-dmcorp.com.tw
23	統包工程施工階段管理及常見契約爭議	2022/11/25~ 2022/11/25	中興工程顧問社	聯絡人：陳志倫 電話：(02) 87919198#456 信箱：chenbl@sinotech.org.tw
24	工程法務系列-施工安全管理及勞安危機處理實務	2022/11/25~ 2022/11/25	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：楊小姐 電話：02-89195033 信箱：cindy.yang@tcricri.org.tw
25	因應 2050 淨零排放技術研討會	2022/11/25~ 2022/11/25	台灣汽電共生協會	聯絡人：古玉媛 電話：0920080732 信箱：cogen@cogen.com.tw

序號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡電話
26	資源材料高值化創新技術探討	2022/11/25~ 2022/11/25	環興科技股份有限公司	聯絡人：周羽純 電話：27691366*10403 信箱： cynthia@mail.sinotech-eng.com
27	112 年決標進階《評分及格最低標與最有利標》	2022/12/02 ~ 2022/12/02	中華國土人才培訓股份有限公司	聯絡人：林小姐 電話：0223628111 信箱：clptc@clptc.com
28	WELL AP 國際健康建築專業顧問師輔導認證培訓班	2022/12/08~ 2022/12/09	財團法人成大研究發展基金會	聯絡人：林先生或郭小姐 電話：(06)2008030 轉 23 信箱：capc_pt@capc.org.tw
29	2022 女科技人大會 - 邁向工作與生活共榮的新職場「本課程有採用視訊或網路教學」	2022/12/09~ 2022/12/09	社團法人中國工程師學會	聯絡人：梁愛倫 電話：02-23925128 分機 12 信箱：secretariat@cie.org.tw
30	「專案管理實務暨第 21 屆公共工程金質獎 專案管理得獎專案分享」研討會	2022/12/09~ 2022/12/09	社團法人中國工程師學會	聯絡人：梁愛倫 電話：信箱： secretariat@cie.org.tw
31	大氣腐蝕及防蝕技術應用研討會	2022/12/13~ 2022/12/13	中華民國防蝕工程學會	聯絡人：吳慧真 電話：02-82731575 信箱：anticorr@seed.net.tw
32	大氣腐蝕及防蝕技術應用研討會	2022/12/13~ 2022/12/13	中華民國防蝕工程學會	聯絡人：吳慧真 電話：02-82731575 信箱：anticorr@seed.net.tw
33	統包工程完工階段之常見契約爭議及糾紛解決機制	2022/12/23~ 2022/12/23	中興工程顧問社	聯絡人：陳志倫 電話：(02) 87919198#456 信箱：chenbl@sinotech.org.tw
34	鋼筋探測技術與應用(本課程以實體為主,網路視訊視情況而定)	2022/12/27~ 2022/12/29	喜利得股份有限公司	聯絡人：王威捷 電話：02-6630-0323 信箱：andy.wang@hilti.com

環保訊息 (資料來源：行政院環境保護署)

- 111/10/04 【**環保署公告「限制含石綿產品輸入」**】
為達成石綿產品管制，環保署於 111 年 10 月 4 日公告「限制含石綿產品輸入」，規定自 112 年 5 月 1 日起，禁止含石綿產品輸入，以加強國內含石綿產品之管理。
- 111/10/04 【**加嚴有機錫禁限用規定 杜絕毒化物非法濫用**】
為確保我國民眾健康與環境永續發展，行政院環保署預告修正「列管毒性化學物質及其運作管理事項」，加強有機錫化合物運作管理，除延續原製造等運作行為管制，順應國際管理趨勢禁止有機錫化合物用於製造防污漆、防污系統或殺生物劑；並因應石綿於我國已全面禁用及其他公告列管物質資訊更新，一併調整運作管理事項規範內容；此次修正因應有機錫化合物毒性分類調整，給予業者一至兩年施行緩衝期。
- 111/10/07 【**胖卡乘載環保標章 30 週年里程 攜手馳向 2050 淨零排放**】
環保標章今年已邁向第 30 年，為邁向 2050 淨零排放，環保署與連續申請環保標章 20 年以上的企業夥伴、審議委員等為環保標章茁壯的重要推手，齊聚西門紅樓記者會現場。以「Before30/After30」為主軸，回顧過去 30 年共同努力成果，更相約攜手打拼及展望未來 30 年，邁向 2050 淨零排放目標。
- 111/10/11 【**空污季超前部署，中央地方合作應變減排**】
自 108 年以來環保署與地方政府透過跨縣市應變小組合作，在秋冬空品不良期間，執行燃煤電廠等大型工廠降載減排方式來降低特殊氣象條件造成擴散不良的影響，例如 110 年空污季燃煤電廠降載了 116 億度，約占中火、興達及麥寮 3 座電廠空污季期間燃煤機組發電量的三成。空污季 PM_{2.5} 全國平均濃度也已從 108 年的 19.8 μg/m³ 改善至 110 年的 16.8 μg/m³。而目前時序已進入 10 月，今(11)日環保署以實體及視訊方式，在高雄召開應變小組啟動會議，提醒今年 3 月 3 日修正的「空氣品質嚴重惡化警告發布及緊急防制辦法」(簡稱應變辦法)的規定，特別是要查核大型工廠是否落實減排降載，以及訂定車輛管制方式等，加入上風縣市降載減排以提高應變效果。

- 111/10/12 **【鼓勵水性製程及強化揮發性有機物管制，環保署預告「聚氨基甲酸酯合成皮業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」修正草案】**

鑑於揮發性有機物為臭氧與細懸浮微粒的前驅物，且為異味污染的主因之一，部分揮發性有機物亦為有害空氣污染物，長期暴露會對人體健康造成影響，為鼓勵聚氨基甲酸酯塗布業採用水性製程及強化整體揮發性有機物管制，環保署提出「聚氨基甲酸酯合成皮業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」修正草案，並且擬修改法規名稱為「聚氨基甲酸酯塗布業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」(以下簡稱本標準)，增訂排放管道揮發性有機物濃度值、削減率與集氣設施設置規範，並給予既存業者 2 年緩衝期進行改善。預估改善後可減少排放揮發性有機物 775 公噸，相當於減少 1 座煉油廠揮發性有機物平均排放量之 9 成。

- 111/10/14 **【檢調警環查獲短報空污費 業者坦承改正獲緩起訴】**

環保署會同臺中地檢署指揮法務部調查局航業調查處臺中調查站及內政部警政署保七總隊第三大隊第二中隊等單位，運用智慧勾稽策略，鎖定具風險潛勢污染事業並輔以科技蒐證，查獲臺中市西屯區長○公司未有效收集處理製程廢氣及蓄意短繳空氣污染防制費，違反空氣污染防制法並涉犯行政刑罰規定，全案經臺中地檢署偵查終結，經考量業者犯後坦承犯行，深表悔悟，並已繳回犯罪所得新臺幣(下同)4,696 萬 1,806 元，且投資 4,700 餘萬元增設高效能處理設備提升空氣污染防制能力，另向公庫支付 384 萬元可提撥補助相關公益團體或地方自治團體，臺中地檢署於 111 年 9 月 19 日處以緩起訴處分。

- 111/10/17 **【空水監測幕後英雄 守護環境感謝有您】**

環保署設立全國空氣品質監測站網及環境水質監測網分別邁入第 30 年及第 20 年，今(17)日特地舉辦【崢嶸歲月 一路有您「空品監測 30 週年」及「水質監測 20 週年」致贈典禮】，感謝長期致力於監測業務之基層人員及提供場地之公私場所，並回顧監測歷程的演進。

- 111/10/20 【2050 淨零排放有目標，有作法，務實邁向永續發展】
近日學者以「科技無解」為題投書質疑政府推動 2050 淨零排放作法，環保署強調今（111）年 3 月 30 日由國發會結合相關部會所提出「臺灣 2050 淨零排放路徑」已宣布建構科技研發及氣候法制基礎環境，推動能源、產業、生活、社會等四大轉型策略，分別從政府、產業及民眾生活等面向，結合 12 項關鍵戰略推動落實。政府目前正進行社會對話，凝聚各界共識，希望民間與政府攜手合作，共同達成 2050 淨零轉型願景。
- 111/10/20 【環保署預告修正「環境影響評估法施行細則」第 12 條附表 1 草案】
環保署預告修正「環境影響評估法施行細則」第 12 條附表 1 草案。環保署表示，因應環境影響評估法第 5 條授權訂定「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」之修正，新增國家發射場域開發行為類型，並由環保署擔任環境影響評估主管機關。

論述園地

離心式泵浦各部位損壞的原因

陳伯珍

淡江大學水環系兼任副教授(退休)

環工技師

關鍵詞

離心式泵浦、泵殼、葉輪、機械軸封、填料函、軸承盒、空氣夾帶、孔蝕。

摘要

本文係在介紹離心式泵浦各部位損壞的原因，泵浦的各部位包括：葉輪、耐磨環、機械軸封、填料函、泵軸、軸套、軸承及聯軸器等，其損壞原因包括：泵浦與管線的關係、泵浦的水力問題(如孔蝕及空氣夾帶等)、泵浦的啟動問題、泵浦泵送物體的關係、軸承潤滑油使用情形、泵浦安裝上的問題、泵浦不當的維修工具、不正確的對準、泵浦檢驗及維修不完整、未遵循泵浦操維手冊、未施行預防性或預測性維護措施等。為了不要讓自己的泵浦成為下一個失敗案例統計的數據，期望能藉由研讀本文對於離心式泵浦各部位損壞原因的介紹，詳細參照泵浦操維手冊，積極培訓操作員，並確立自己的泵浦系統中主要問題的所在，以協助防止費用昂貴的泵浦修理事件的發生。

一、概說

離心式泵浦是一種很可靠及低維護需求的泵浦，它們是家用和工業用途中最流行的泵浦類型之一。離心式泵浦的原理很簡單，它們都以類似的方式在高速和高壓下工作。為避免在使用離心式泵浦時發生事故，以及避免損壞泵浦，用戶有必要了解會引起此類泵浦各部位損壞的原因。

以下將以圖文並茂的方式說明離心式泵浦各部位損壞的原因，期望用戶務必不要再犯下同樣的錯誤。同時，為了使不太熟悉離心式泵浦構造的初學者能順利閱讀本文，配合本文對泵浦各部位損壞情形的介紹，特將離心式泵浦及馬達各部位名稱(詳圖 0A)、離心式泵浦剖面示意及各部位名稱(詳圖 0B)、離心式泵浦結構示意及各部位名稱(詳圖 0C)、離心式泵浦泵殼內部各部位名稱(詳圖 0D)以及泵浦性能曲線及抽水站系統曲線圖(詳圖 0E)等五張圖一併陳列於後，以利閱讀時能參照這些圖以了解離心式泵浦各部位的位置及離心式泵浦之性能。

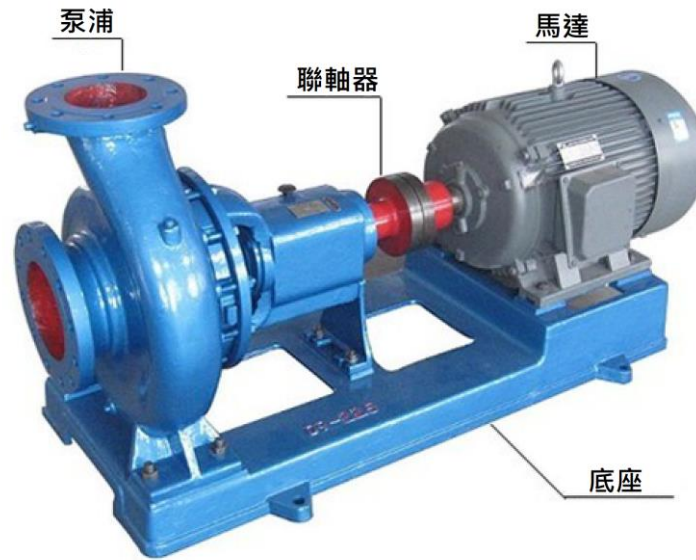


圖 0A 離心式泵浦及馬達各部位名稱

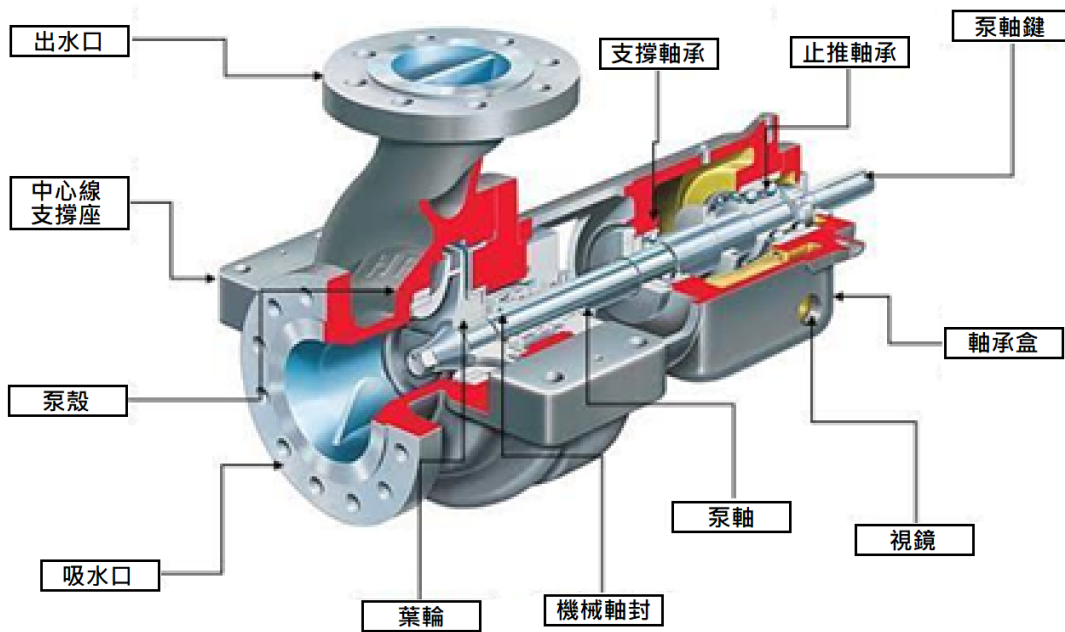


圖 0B 離心式泵浦剖面示意及各部位名稱

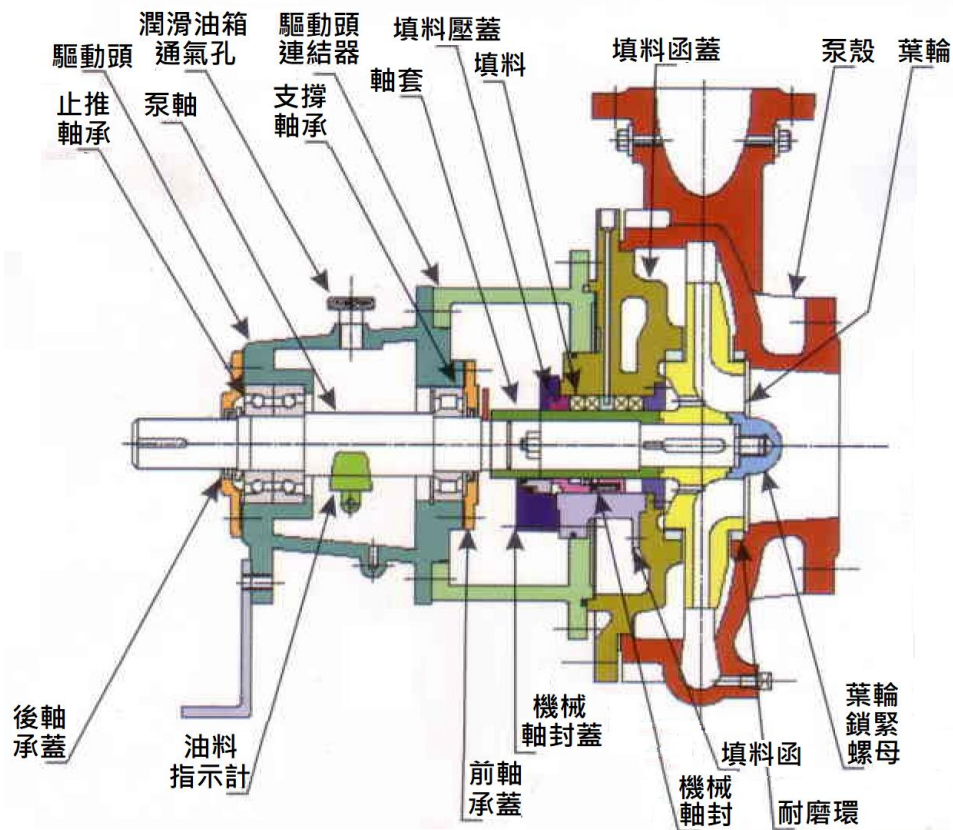


圖 0C 離心式泵浦結構示意及各部位名稱

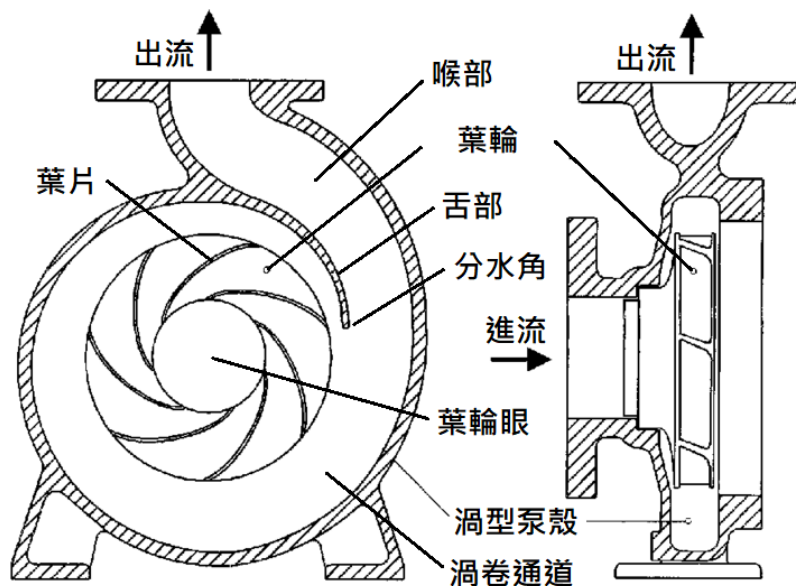


圖 0D 離心式泵浦泵殼內部各部位名稱

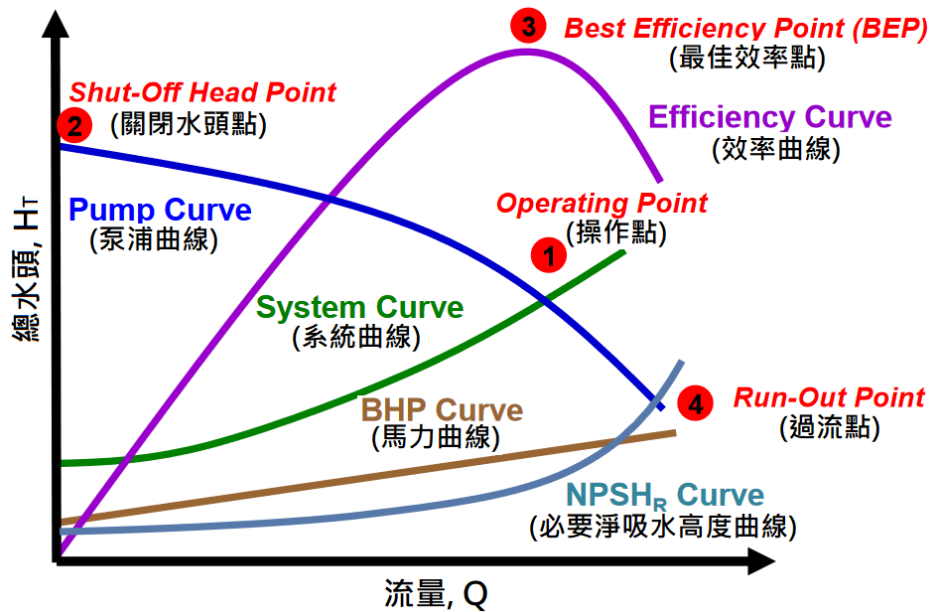


圖 0E 泵浦性能曲線及抽水站系統曲線圖

1. **管線配置對泵浦造成應力** 泵浦不應該作為吸入或排出管線的支撐，管線系統對泵浦的任何應力都會大大降低泵浦的壽命和性能(詳圖 1)。泵浦吸入或排出口管線法蘭的平行和角度錯位會導致泵浦組件故障，從而導致泵浦可靠性變差、維修費用變高及停機時間增加。在栓緊泵浦螺栓之前應先準確對齊管線法蘭，並獨立支撐所有管線、閥門和相關配件。在銜接泵浦與管線時，從泵浦側往管線系統側方向銜接的順序有助於減少管線應變。管線在泵浦上產生應力的原因如下：

- 管線系統或機械的設計或安裝不當。
- 可能導致管線系統發生意外移動的熱或壓力變化。
- 管線支撐的設計和放置缺失或不當。
- 處理流程變化，其中管線系統的變化沒有被考慮在內。

管線應變是一個複雜的問題，但它會直接導致泵浦產生下列問題：

- 聯軸器錯位。
- 泵殼變形。
- 軸承、軸封和其他機器部件的推力或徑向負載過大。
- 管線系統過度振動，並可能將振動傳遞到建築物或周圍的機器中。

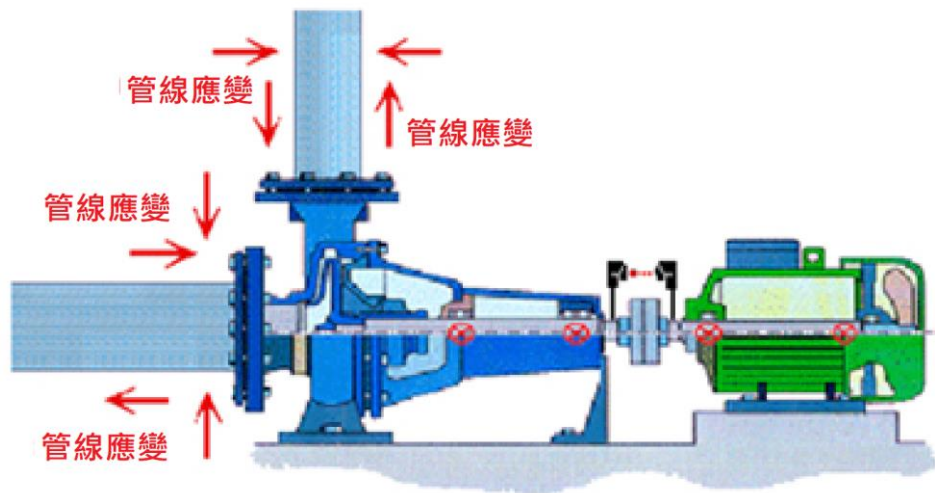


圖 1 管線配置不適當會對泵浦造成應力

2. 不良的管線設計方式 不良的管線設計會對泵浦的性能產生很大影響，例如在泵浦的吸入口處設置倒U形管會導致管線中滯留空氣(詳圖2)，如沒將這些空氣自管中排出，則會使泵浦出現下列問題：

- 泵葉輪眼的低壓區，氣泡被困住而阻塞流體流動，使總壓頭和泵效率下降
- 空氣堵塞會導致葉輪不平衡的液壓負載，使泵振動增加，從而直接導致軸承和機械軸封提早失效
- 由於液壓波動和軸向穿梭，造成泵軸斷裂
- 空氣夾帶游離氧，造成一般腐蝕和應力腐蝕

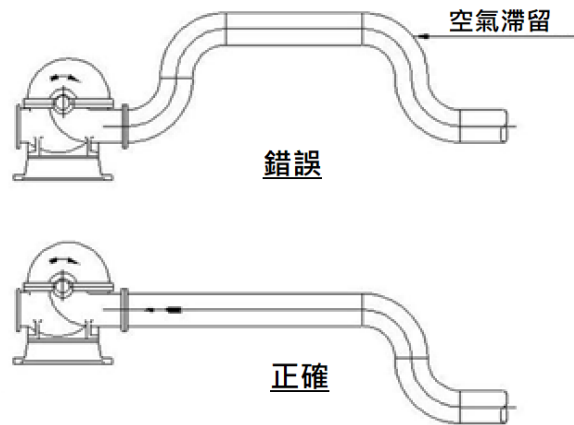


圖 2 泵浦吸入口處設置倒 U 形管會使空氣滯留

3. 泵浦吸入的水流夾帶空氣 泵浦吸入的水流夾帶空氣可能係由多種因素所引起，例如，因吸入管浸水深不足而使水池中出現渦流（詳圖 3A）、進流水自由跌落而使吸入的水流夾帶空氣（詳圖 3B）、水源不足或水中曝氣等，水流夾帶空氣會產生下列之問題（請參閱第 4 條之補充資訊 2）：

- 導致泵葉輪眼低壓區的氣泡阻塞流體流動，使總壓頭和泵效率下降
- 水中空氣含量即使低至 2% 到 4% 值，也會導致泵振動增加，從而直接導致軸承和密封過早失效
- 導致泵浦葉輪和分水角磨損
- 由於軸封面之間的空氣導致軸封乾轉

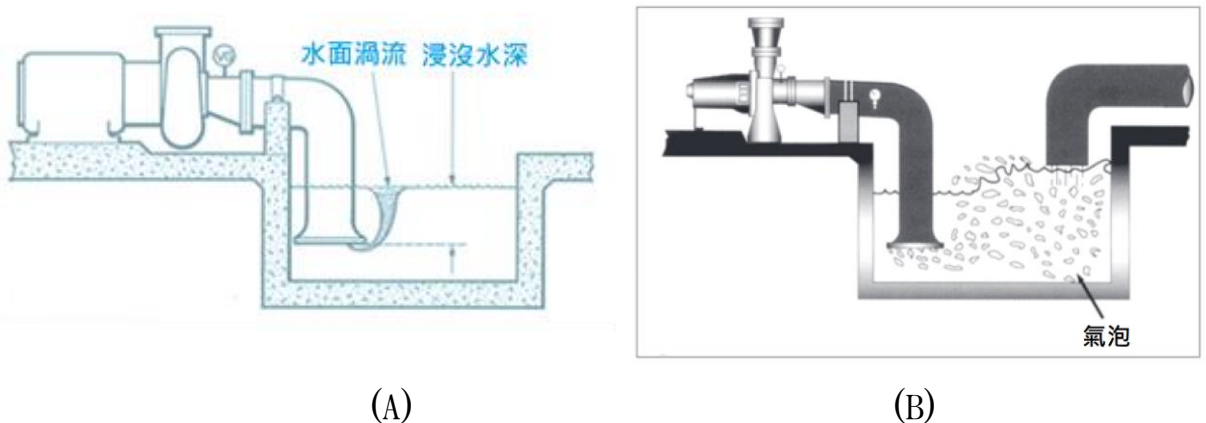


圖 3 (A) 水池中出現渦流，(B) 進流水自由跌落

4. 淨吸水高度 (NPSH) 的問題 在離心泵中，如果可用淨吸水高度 (NPSHA) (詳圖 4A) 不如所需淨吸水高度 (NPSHR)，會導致泵浦穴蝕（請參閱下述之補充資訊 1）、不穩定流、葉輪和泵殼損壞以及性能損失（詳圖 4B）。

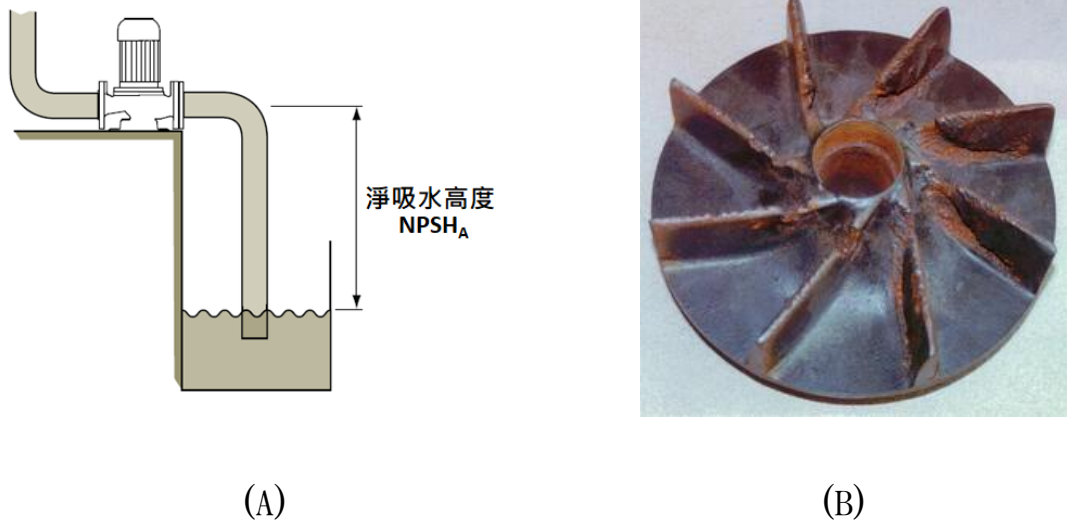
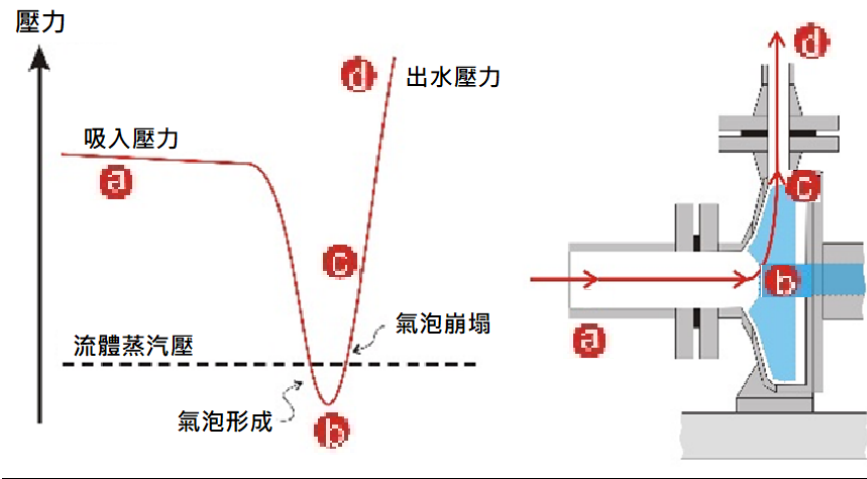


圖 4 (A) 淨吸水高度之定義，(B) 孔蝕造成葉輪磨損

[補充資訊 1] 泵浦孔蝕

在離心式泵浦中，如果其性能曲線上操作點的可用淨吸水高度 (NPSHA) 低於至少 1.2 倍之所需淨吸水高度 (NPSHR)，則葉輪入口處的流體壓力會下降至低於流體的蒸汽壓，因此會導致在吸入區域的液體中形成小的充滿蒸汽的空腔 (cavities)。這些空腔、稱為氣泡，會與流動流體一起被泵送到靠近葉輪出水的較高壓力區域，在此處氣泡中的蒸汽會凝結而使氣泡突然內爆而崩塌。氣泡崩塌時會產生衝擊波，這會在葉輪的金屬表面上造成小點蝕，通過持續一段期間的反復內爆，則幾百萬個小點蝕的累積效應，最後會造成葉輪及泵殼金屬表面的疲勞，從而導致稱為孔蝕 (cavitation) 的磨損 (詳圖補 1)。此外，還會導致：噪音、振動、軸封/軸承損壞、總水頭下降以及較高的耗能。除了離心式泵浦，孔蝕也可能發生在控制閥、正位移式泵浦、彎管和船舶潛艦的螺旋槳中。



- (a) 流體進入泵浦，(b) 在葉輪處壓力下降至低於蒸汽壓力，
 (d) 當流體通過至出水端時壓力上升，(c) 蒸汽凝結及氣泡崩塌

圖補 1 通過正遭遇孔蝕的離心泵浦的壓力坡降

孔蝕有兩種主要的類型：蒸汽 (vapor) 孔蝕和不凝性氣體 (noncondensable gas) 孔蝕(以下簡稱氣體孔蝕)。

蒸汽孔蝕是一種沸騰過程，如果隨著液體迅速變成蒸汽，氣泡以無限制的方式爆炸性增長，就會發生這種沸騰過程。當壓力水平低於液體的蒸汽壓力時，就會出現這種情況。

氣體孔蝕是一種擴散過程，只要壓力低於溶解在液體中的不凝性氣體的飽和壓力，就會發生這種擴散過程。雖然蒸汽孔蝕非常快，在幾微秒內發生，但氣體孔蝕要慢得多。所需時間取決於存在的對流（流體循環）程度。

孔蝕磨損僅發生在蒸汽孔蝕條件下——此時衝擊波和微射流會侵蝕表面。氣體孔蝕不會導致表面材料腐蝕，它只會產生噪音，產生高溫（甚至是分子程度級的裂解），並且會因為氧化而使流體的化學成分變質。

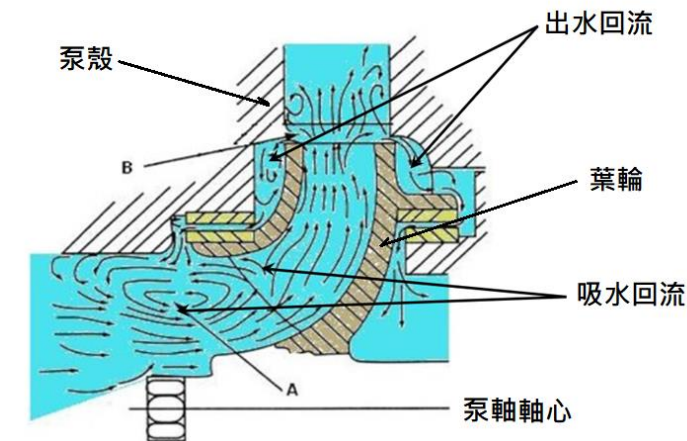
[補充資訊 2] 如何區別夾帶空氣和泵浦孔蝕？

夾帶空氣和泵浦孔蝕具有相似的症狀，在離心泵中，它們都能夠產生隆隆聲、嘎嘎聲，並導致高於基線的振動，如果不加以控制，每一個都可能導致葉輪出現凹坑和損壞。儘管夾帶空氣和泵浦孔蝕的影響非常相似，但它們的原因卻截然不同。在解決問題之前，應先了解問題的所在。

如何判斷問題是夾帶空氣還是泵浦孔蝕？

夾帶空氣和孔蝕雖然有相似的症狀，但有不同的解決途徑。此可通過節流排放閥來進行簡單的測試，以幫助確定問題是夾帶空氣還是泵浦孔蝕。當進行排放閥節流的動作完成後，將發生以下三件事之一：

- A. 噪音和振動變差：如果發生這種情況，問題可能是發生吸水或出水回流（詳圖補 2）。
- B. 噪音和振動減弱或完全消失：問題所在很可能是孔蝕，原因是對閥門進行節流會使泵浦重新按照性能曲線運行，因此需要更少的 $NPSH_A$ 。
- C. 噪音和振動保持不變：降低流量對問題沒有影響，因此罪魁禍首可能是夾帶空氣。



圖補 2 吸水及出水回流

關於離心泵中夾帶空氣的影響有許多不同的意見，夾帶空氣通常被認為對泵浦的性能和壽命有害。大量空氣（大約 5% 到 6%）會聚集在葉輪眼中，並導致流量損失和可能的空氣堵塞。空氣會增加高流量泵浦的噪音，這些泵浦具有高葉輪出口尖端速度和小泵殼舌部間隙。然而，少量的夾帶空氣（低於約 1%）被認為可以緩衝孔蝕的內爆效應，從而減少它們的噪音和侵蝕性損壞。對於導致孔蝕方面，蒸汽氣泡崩塌會發生孔蝕，但夾帶空氣氣泡崩塌並不會發生孔蝕。

5. **泵浦吸入口銜接水平直管** 泵浦吸入口銜接水平吸水直管時，一般都會在吸入口處緊接一個縮管，以便從較大直徑（低流速，中等摩擦損失）的吸水管銜接到較小直徑的泵浦吸入口，它們的安裝方式應使截留的空氣、蒸汽或不凝結的氣體不會積聚在縮管的任何部分，因此該縮管不得使用同心縮管，而應使用偏心縮管，且應將偏心縮管的平面放在頂部（詳圖 5）。

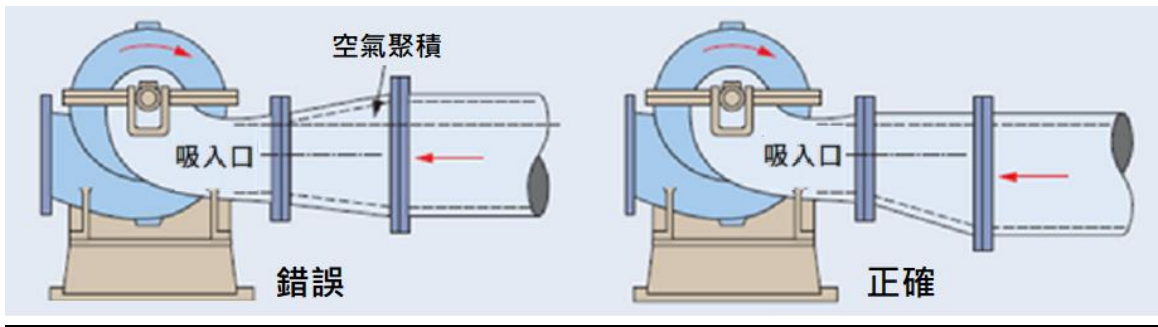


圖 5 泵浦吸入口銜接水平直管

6. **泵浦吸入口銜接垂直彎管** 當流體從泵浦下方流入泵浦時，應將偏心縮管的平面放在頂部（詳圖 6A），這將可避免泵浦吸入口（縮管）處積聚氣泡。當流體從泵浦上方流入泵浦時，應將偏心縮管的平面放在底部（詳圖 6B），這將可使空氣往後方吸水來源端逸出；惟依據第 8 條，美國水力協會 (Hydraulic Institute) 出版的 ANSI/HI 9.8-1998 認為當流體從泵浦上方流入泵浦時，亦可使用同心縮管。

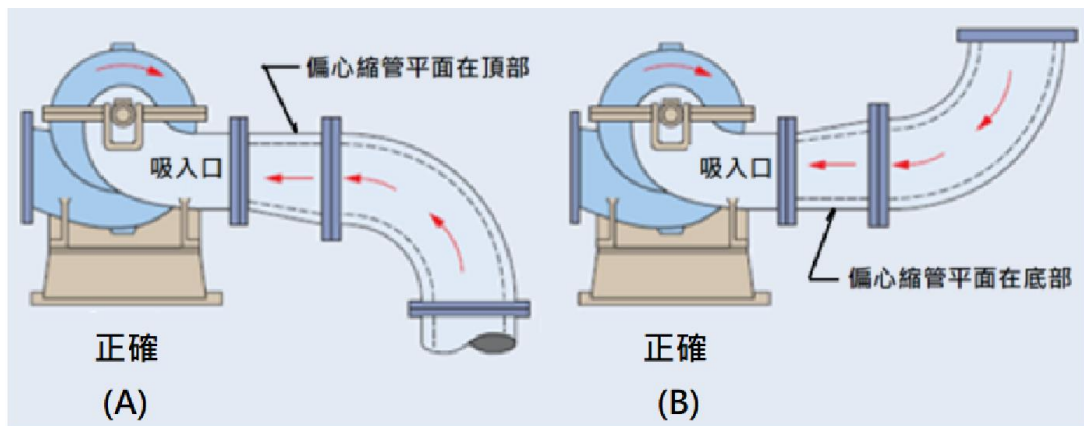


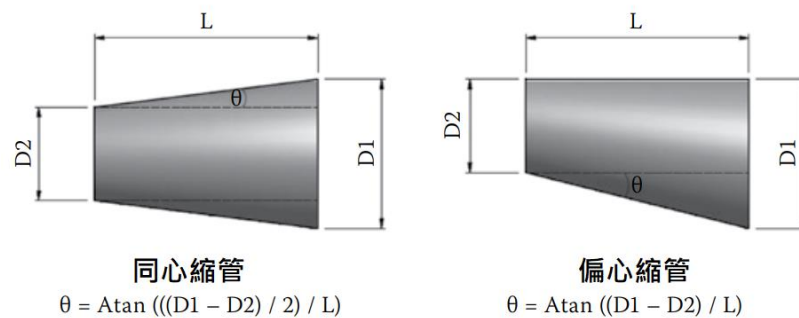
圖 6 (A) 偏心縮管的平面在頂部，(B) 偏心縮管的平面在底部

[補充資訊 3] 泵浦吸入口的縮管

傳統上推薦用於泵浦吸入口的縮管接頭係採用偏心縮管，以容許通過接頭時將吸水管內滯留的空氣輸送到泵浦。一些最近的研究報告，想了解同心縮管除了在流入泵浦時具有更均勻速度分佈的能力外，是否同時仍容許空氣通過接頭輸送到泵浦。該些研究係利用計算流體動力

學 (CFD) 分析同心和偏心縮管，在不同的入口速度下確定分佈在泵浦入口處的流速。研究發現偏心縮管角度大於或等於 15° ，以及同心縮管角度大於或等於 20° ，皆未通過與入口條件相關的評估標準。水理模型顯示，除了 20° 同心縮管外，空氣可以水力方式輸送通過所有的同心縮管。所以與偏心縮管相比，正確設計的同心縮管不僅可提供更均勻的速度分佈，而且亦可容許空氣通過縮管的水力輸送 (詳圖補 3)。(參考資料 13)。引用資料來源網址：

<http://www.scielo.org.za/pdf/jsaice/v56n3/08.pdf>



圖補 3 縮管的角度

7. 泵浦吸入口處的彎管 泵浦吸入口上游端緊接 90° 彎管的設計會使流體朝向彎管的外曲線離心，而不是直接進入葉輪的中心 (葉輪眼) (詳圖 7)，這會對泵浦葉輪產生「滑動負載」並對泵浦產生不均勻的軸向軸承負載，從而導致軸承和軸封受到磨損和過早失效。另外會導致泵浦內出現亂流，使葉輪及泵殼出現磨損問題。

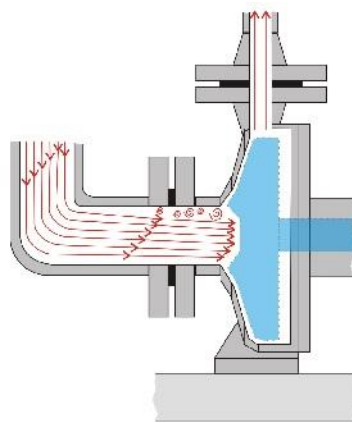


圖 7 泵浦吸入口緊接彎管會導致不均勻流

8. 泵浦吸入口前端加設直管 依據美國水力協會出版的 ANSI/HI 9.8-1998，建議在泵浦吸入口前端加設至少 5 倍管徑的直管，直管可在泵浦吸入口的管徑處形成均勻速度 (詳圖 8)。此外，應使泵浦吸入管長度保持較

短，以確保吸入管水頭損失儘可能降低，兩者對於達成最佳吸入狀況都很重要。

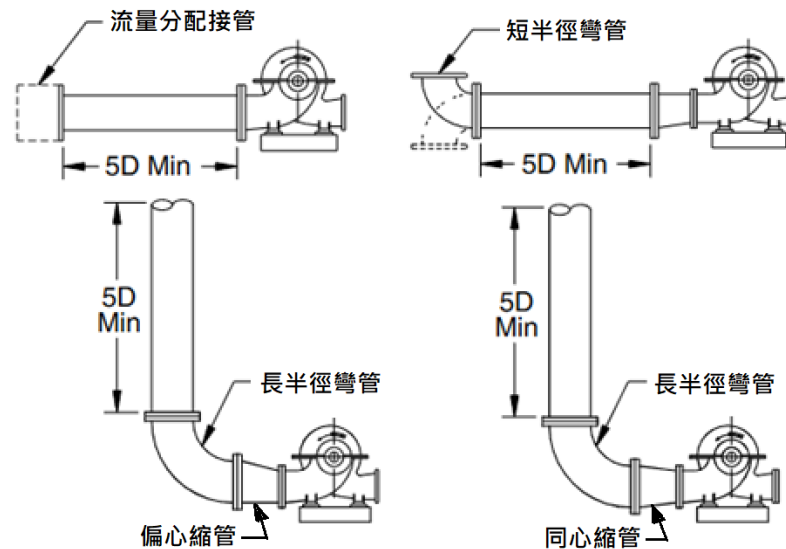


圖 8 泵浦吸入口前端加設至少 5 倍管徑的直管

9. **偏心縮管的角度及管內流速不均勻問題** 偏心縮管漸變段的最大角度應為 15 度，吸入管管徑如果遠大於泵浦吸入口管徑，應依照標稱管徑分段銜接，並在每段間另加一直管，例如 250mm 吸入管接到 100mm 泵浦吸入口，應從 250mm 縮小至 200mm，再縮小至 150mm，最後縮小至 100mm。如採用管徑比，偏心縮管的角度 $\theta = \text{Atan}((D1-D2)/L)$ ，其中 D 為管徑，L 為縮管長度，其角度 θ 應小於 15 度。

在此強烈建議停止將偏心縮管直接連接到泵浦吸入口法蘭的作法，因偏心縮管會在其出口端產生不均勻的流速剖面。如果將偏心縮管的平面設置在頂部，則靠近縮管頂部的進流液體將以直線方式流到出口端，但靠近縮管底部斜面的進流液體將會以更長的距離流到出口端，依據柏努力定律，它必須加速，結果會以較大流速離開縮管，因此縮管出口端會形成不均勻的流速剖面。所以較佳的設置方式係將偏心縮管出口端設在距離泵浦吸入口前端至少 4 至 6 倍管徑的地方，並使用一支直管段放在縮管及泵浦之間，以容許流速剖面自行調整及拉直至對稱狀況（詳圖 9）。（參考資料 14）。引用資料來源網址：
http://digital.pumpsandsystems.com/publication/?i=699452&article_id=3970748&view=articleBrowser&ver=html5

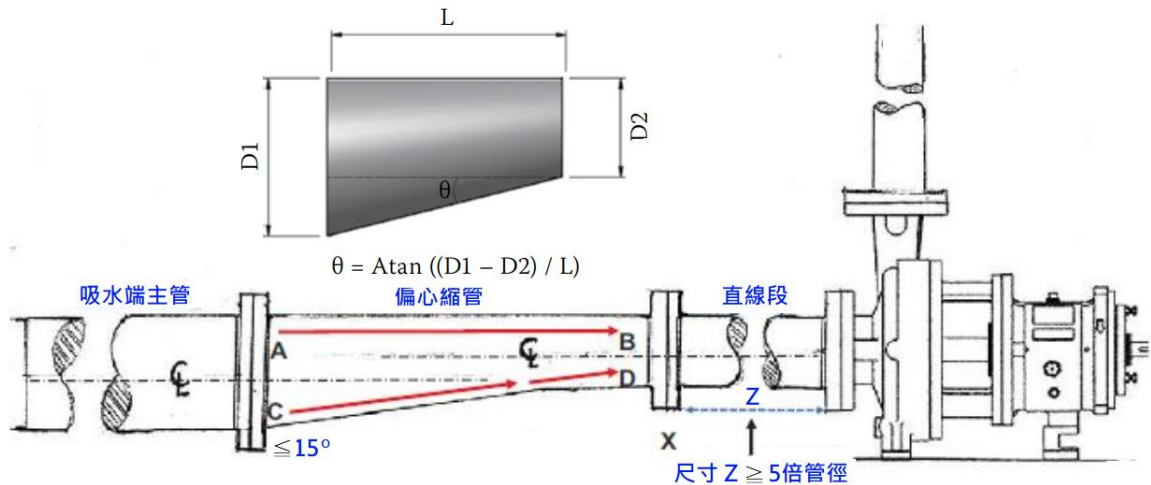


圖 9 偏心縮管的角度及管內流速不均勻問題

[補充資料 4] 離心式泵浦吸入口處銜接偏心縮管或同心縮管結論

- 離心式泵浦吸入口銜接水平直管時，在吸入口處的縮管應使用偏心縮管，且應將偏心縮管的平面放在頂部。
- 當流體係從離心式泵浦下方流入時，應將偏心縮管的平面放在頂部，而當流體從泵浦上方流入時，應將偏心縮管的平面放在底部。
- 離心式泵浦吸入口上游端緊接 90 度彎管的設計會導致泵浦內出現亂流。
- 美國水力協會 ANSI/HI 9.8-1998，建議在泵浦吸入口前端加設至少 5 倍管徑的直管，以便在泵浦的吸入口處形成均勻速度。
- 通過流體動力學 (CFD) 分析同心和偏心縮管，在不同的入口速度下確定分佈在泵浦吸入口處的流速。研究發現偏心縮管角度小於 15° ，以及同心縮管角度小於 20° ，空氣可以水力方式輸送通過所有的同心與偏心縮管。再者，與偏心縮管相比，正確設計的同心縮管不僅可容許空氣通過縮管的水力輸送，而且亦可提供更均勻的速度分佈。
- 綜合上述評估，較佳的設置方式係將偏心縮管出口端設在距離泵浦吸入口前端至少 4 至 6 倍管徑的地方，並使用一支直管段放在縮管及泵浦之間，以容許流速剖面自行調整及拉直至對稱狀況。

10. **泵浦乾轉** 對於機械軸封的離心式泵浦，乾轉可能非常有害，這樣做會導致泵浦葉輪孔蝕(詳圖 10)和機械軸封損壞。事實上，機械軸封可能會過熱，在一些情況下，它會在大約 30 秒內破碎。對於磁力驅動的離心式泵浦，由於缺乏液體潤滑，軸承和機軸的溫度會升高，隨後會熔化塑料外殼。



圖 10 泵浦乾轉會導致葉輪孔蝕

11. 在關閉水頭情況下操作泵浦 當排放側閥門部分或完全關閉(詳圖 11)以便手動控制流量時，它會導致 100%的輸入能量具有破壞性，此會很快導致壓力增加，產生的高熱、高徑向負載會導致泵軸彎曲，最後會使泵浦損壞。

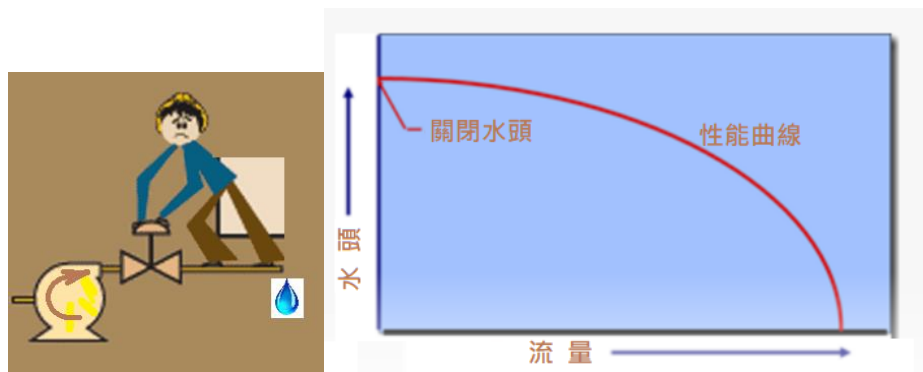


圖 11 在關閉水頭情況下操作泵浦

12. 在性能曲線上遠離最佳效率點運轉 泵浦被製造商設計成應在最佳效率點運轉，這容許在所需工作的最節能點進行安全泵送。如果將泵浦在遠離最佳效率點之處運轉，則不僅會導致泵浦運轉受限而降低效率，也會很快導致過多的出水回流、高熱、徑向損失、振動、軸封高溫 and 效率大幅降低(詳圖 12)。

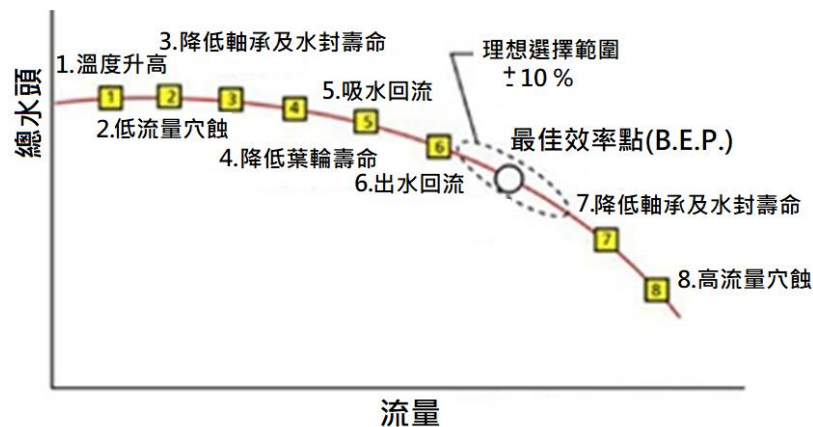


圖 12 在性能曲線上非允許操作點運轉可能產生的問題

13. **泵浦硬啟動** 泵浦應通過軟啟動輕鬆進入泵送狀態(詳圖 13)，在硬啟動的情況下，泵浦一通電就會嘗試泵送液體，泵內的壓力會使泵軸偏向低壓側，從而使泵軸觸碰泵殼，這種錯位將導致軸封失效。

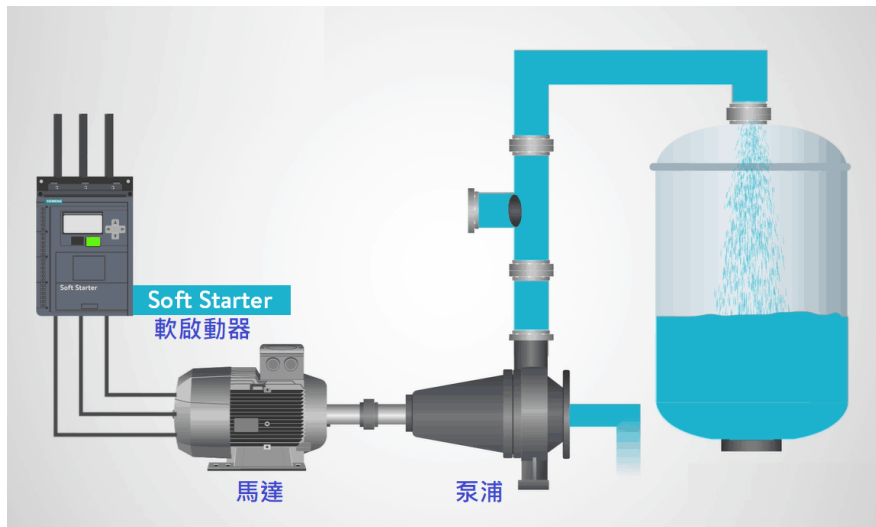


圖 13 泵浦馬達通過軟啟動器進入泵送狀態

14. **以不合適的泵浦泵送固體或磨料** 選擇正確類型的泵浦和材料來泵送固體或磨料非常重要。如果選擇不當，預計幾乎所有液體接觸部位(泵殼、葉輪、填料函等)都會磨損而使壽命縮短(詳圖 14A 及 14B)，葉輪會出現不平衡並且嚴重降低效率。故最好在訂購前諮詢泵浦供應商，因為他們可以定製或使泵浦符合規格。



圖 14 (A) 嚴重磨損的泵殼，(B) 嚴重磨損的葉輪

15. **葉輪尺寸錯誤** 泵浦工廠在製造各種型號的葉輪時，都是先生產最大直徑的葉輪，再依據客戶所需的揚程及水量，將葉輪直徑裁減至適當尺寸。使用尺寸錯誤的葉輪會導致泵浦產生過多或過少的流量，從而超出其最佳效率點 (BEP)。如果葉輪直徑太大，泵浦馬達必須更加使勁地泵送液體，最終導致其燒毀，或縮短泵浦的使用壽命。如果葉輪直徑太小，則很可能不會產生足夠的流量或揚程。此外，葉輪調整不正確會導致泵浦

內的打滑增加、在泵浦內產生更多的亂流、降低其效率、並增加填料函的壓力。建議應與泵浦廠商討論或安排現場訪問，以了解問題的所在，並據以進行正確的裁減，或調整葉輪的尺寸(詳圖 15)。



圖 15 葉輪直徑之裁減

16. **耐磨環間隙不正確** 耐磨環將泵浦的高壓區與低壓區隔開(詳圖 16)，當耐磨環的間隙太大時，泵浦的滲漏增加，高壓液體會大量滲回到低壓區域，導致泵浦效率損失。另一方面，當間隙太小時，耐磨環會導致泵浦磨損和卡死。

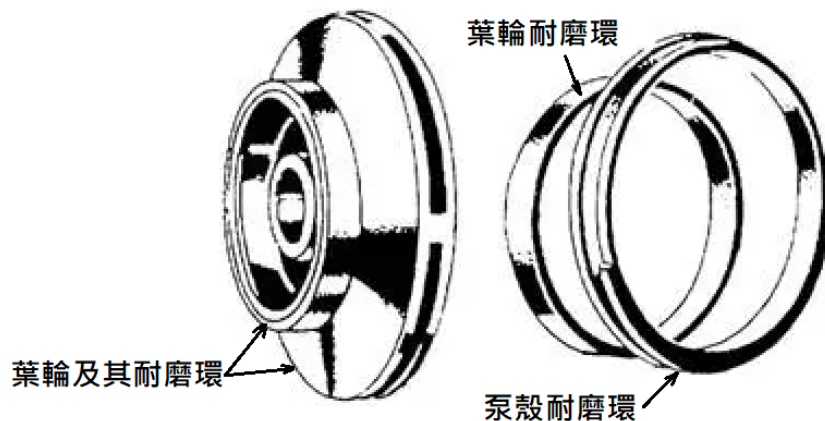


圖 16 泵殼及葉輪耐磨環

17. **葉輪平衡孔或葉片的堵塞** 葉輪平衡孔或葉片(詳圖 17)的堵塞是由於泵浦吸入過大的固體所造成的，堵塞的葉片會導致泵浦性能及效率的降低、啟動發生問題、葉輪不平衡和大幅振動，最終會導致軸承和軸封損壞。

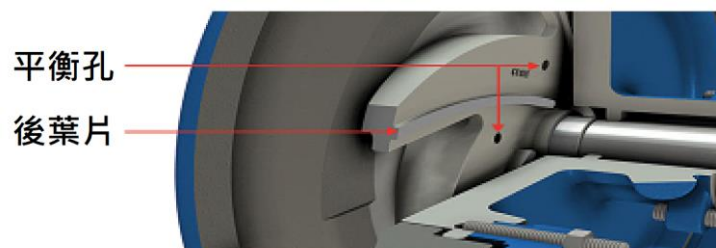


圖 17 平衡孔及後葉片

18. **機械軸封安裝錯誤** 不遵循初始啟動程序和安裝錯誤是機械軸封(詳圖 18)失效的一個重要因素。軸封安裝不當會導致軸封過度移動並縮短使用壽命，包括：微動腐蝕(fretting corrosion)、彈性體(O型膠圈)損壞、驅動磨損以及各種其他問題。機械軸封非常敏感，因為軸封面非常平坦，即使是少量的污垢或油漬，甚至是指紋，也會導致軸封面無法正確校準。

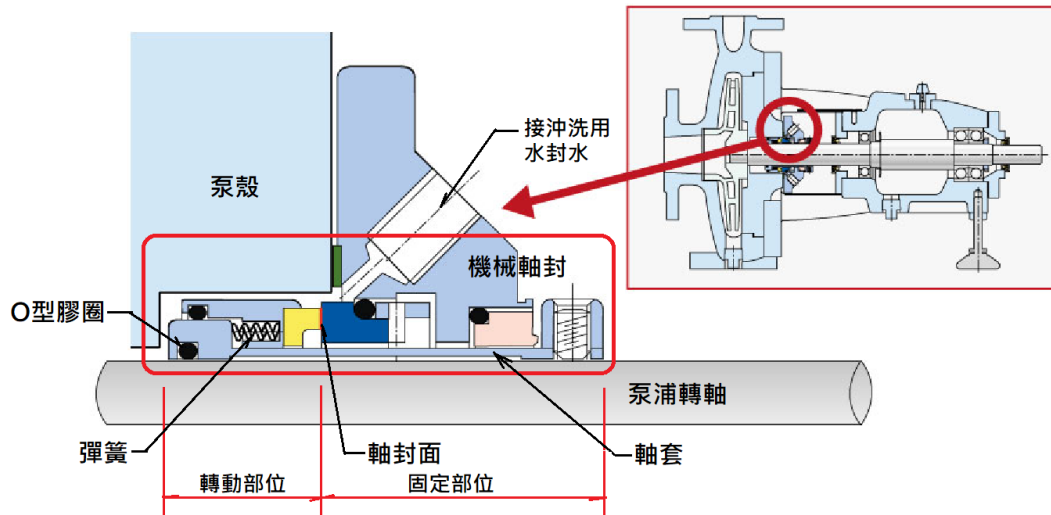


圖 18 離心式泵浦的機械軸封

19. **不當使用或完全忽略機械軸封的沖洗計畫** 機械軸封沖洗計畫必須正確到位，沒有一份協調的沖洗計畫，任何機械軸封的推薦都是不完整的。如果沒有沖洗計畫，脫水物質和污染物會堆積在軸封上，導致軸封過熱或被侵蝕，從而縮短軸封壽命(詳圖 19)。



圖 19 損壞的機械軸封顯示軸封面破裂及塗料堆積

20. **機械軸封或軸封材料選擇錯誤** 缺乏知識及資訊是機械軸封失效的主要原因，不正確的機械軸封安裝會導致軸封面損壞、熱量升高並最終導致泵浦故障。應考量正常的操作條件、偏離設計急就章的可能性和非程序活動，例如清潔、蒸汽清洗、酸和鹼沖洗等，應與泵浦製造商討論正在處理的化學品類型以及所需的機械軸封類型（詳圖 20）。

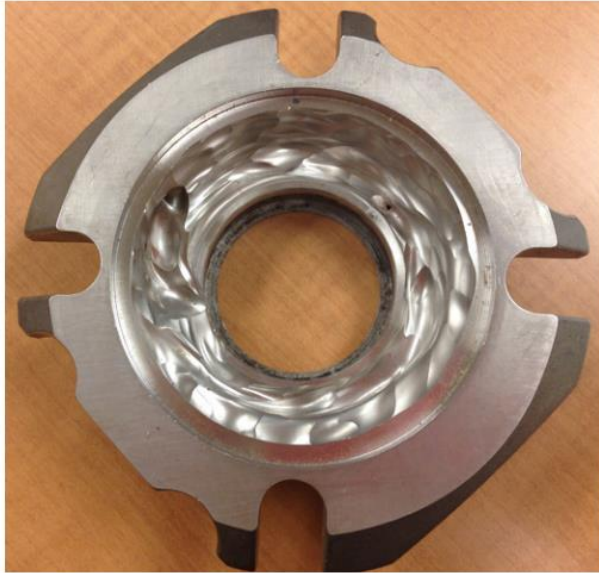


圖 20 用於泵送含磨料液體的軸封材料選擇不當的結果

21. **泵浦不平衡** 泵浦的平衡涉及將幾何中心（泵軸軸心）與質量中心（質量軸心）對齊（詳圖 21），幾何中心（人為）是泵軸和葉輪總成的中心，質量中心是組件試圖自然旋轉的中心，如果葉輪像飛盤一樣被拋到空中，它就會繞著這個質量軸心旋轉，這兩條中心線永遠不會完全對齊，中心線之間的距離稱為位移。

泵浦不平衡產生的一些危險包括：

- 軸偏轉-彎曲的軸或不受控制的共振會導致偏轉並損壞整個系統
- 過度的、不可接受的振動
- 機械軸封/機械填料故障
- 災難性軸承故障

葉輪平衡是檢查和調整轉子質量分佈的過程，以確保軸頸的振動和/或軸承上的力對應於泵浦轉速並在規定的範圍內。

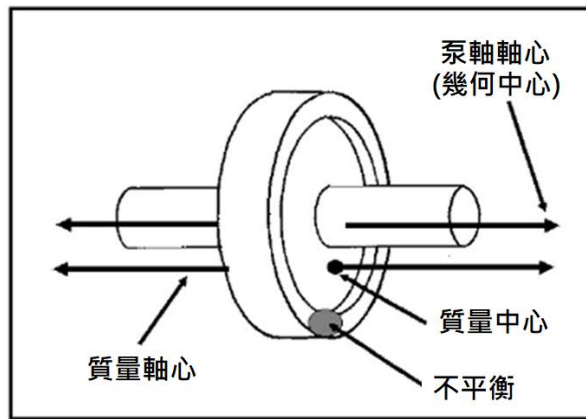


圖 21 泵浦不平衡

22. **在填料函中截留蒸汽** 這種情況最常發生在豎軸安裝的泵浦中，那時的填料函會位於泵浦的最高點，如果軸封沖洗被堵塞或關閉，泵浦中的任何蒸汽都會上升到最高點的填料函(詳圖 22)。如果蒸汽沒有適當的排除或通氣，泵浦就很容易會部分乾轉，直到蒸汽通過軸封而釋放到大氣中。

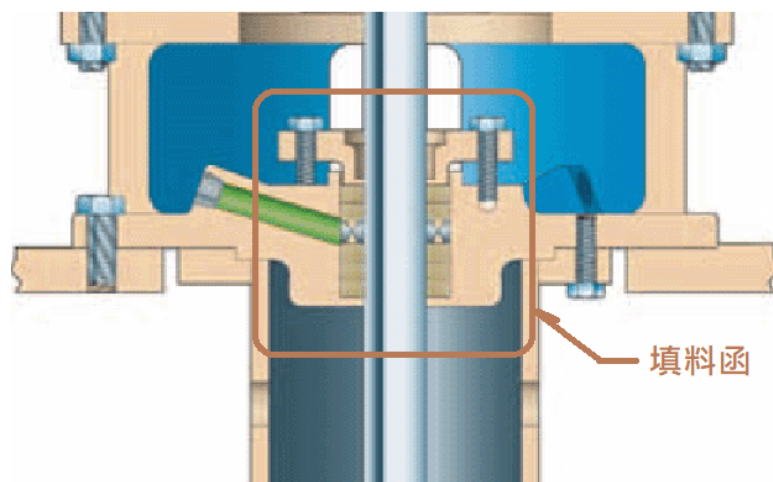


圖 22 豎軸安裝泵浦的填料函

23. **填料函截留固體** 泵浦的填料函裝有一個壓蓋，該壓蓋壓縮用於軸封泵送流體的填料，它可以防止沿著穿過泵孔的泵軸洩漏。填料函的可靠性對整個流體軸封的狀況和性能至關重要，流體軸封的性能和可靠性越好，內部泵浦組件(包括填料函)的狀況就越好。當固體進入填料函並且沒有被適當沖洗掉時，預計會縮短軸封的壽命(詳圖 23)。



圖 23 填料函截留固體

24. 損壞的填料函或磨損和損壞的配件 使用損壞的填料函或磨損和損壞的配件會導致軸封錯位、洩漏和泵浦效率降低(詳圖 24)。

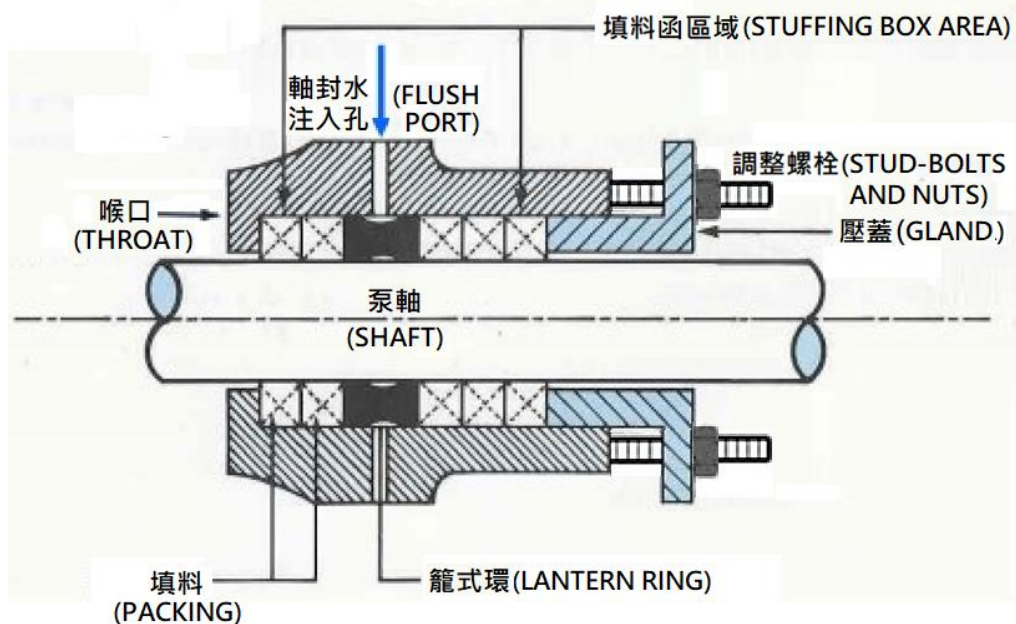


圖 24 填料函

25. 彎曲的泵軸 泵浦使用彎軸(詳圖 25)泵送會引起振動，從而縮短泵浦的使用壽命。彎軸可能是由於不在最佳效率點運轉，或使用無法有效處理固體的泵浦來泵送固體之所致。當泵浦不在最佳效率點運轉時，泵殼中的液體會從一個角度向著另一個角度對泵軸施加過大壓力，導致泵軸產生彎曲應變。泵送的固體可能會卡在泵浦中，導致振動、內部零件碰觸、軸承損壞、聯軸器損壞、聯軸器錯位以及軸封壽命變短，並最終導致泵浦提早損壞。



圖 25 泵軸彎曲(故意裁斷以便移除葉輪)

26. **軸套跳動** 軸套跳動基本上是軸套以不適當的方式裝配在泵軸所致，錯誤的軸套裝配會引起軸封下方過度振動並導致軸封壽命縮短(詳圖 26)。

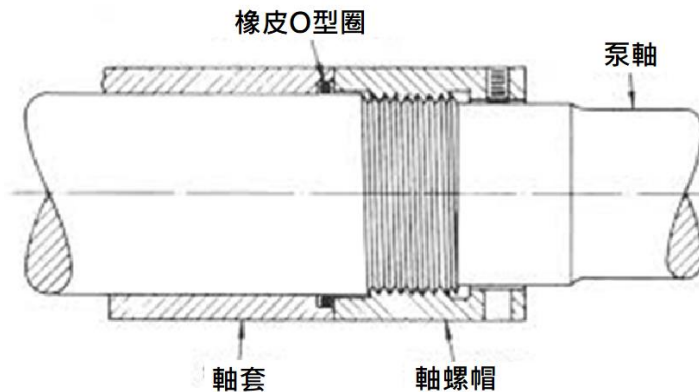


圖 26 軸套應以適當的方式裝配在泵軸上

27. **泵軸上的唇形軸承油封刻劃出的溝槽** 污染物會通過溝槽進入軸承盒並破壞軸承(詳圖 27)，而如果污染物可以進入軸承盒，這也意味著潤滑劑可以排出，導致軸承損壞和泵浦完全故障。



圖 27 泵軸上的唇形軸承軸封刻劃出的溝槽

28. **軸套或泵軸的表面光滑度差** 如果軸套或泵軸的表面光滑度不光滑，填料會失效，導致泵軸或軸套與 O 型膠圈軸封之間會有洩漏(詳圖 28)。



圖 28 軸套顯示深槽，表示填料過度磨損

29. **不適當的軸承裝配** 每次更換軸承或清潔泵軸時，只會去除表面上的一小部分材料。隨著時間的推移，一點點就會增加到很多，並且會真正影響泵軸上的軸承間隙。發生這種情況時，軸承會在軸承盒內或泵軸上空轉，等於軸承沒發揮到效用（詳圖 29）。

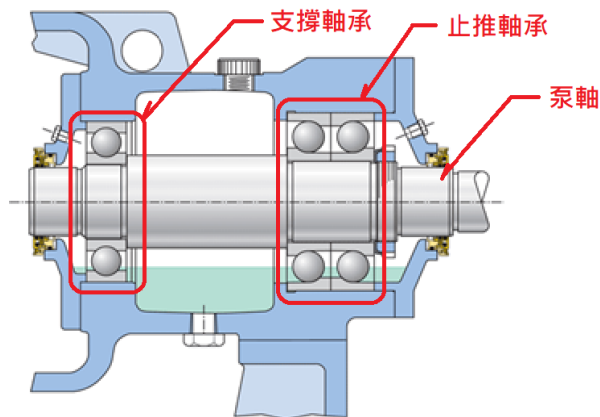


圖 29 不適當的軸承裝配

30. **用量過少、過多或不正確的軸承潤滑油** 潤滑是軸承過早失效的第一大原因，潤滑油用量過少會導致軸承過早失效，從而導致軸承卡住並使泵浦失效。過多的潤滑油也是如此，這會導致熱量滯留在軸承內部並導致漏油，從而縮短泵浦的使用壽命（詳圖 30）。

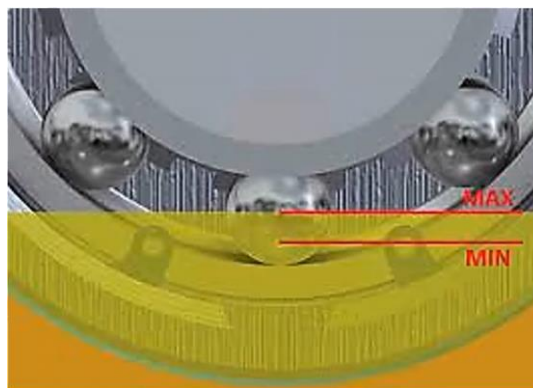


圖 30 保持軸承潤滑油之液位於正確位置

31. **軸承盒之污染** 當泵送的液體及磨料卡在軸承盒內而未適當沖洗時，預期會發現軸承壽命縮短。這可能發生在沖洗作業期間，或者有時維修留下的微粒會留在裡面，這些雜質會破壞軸承、軸承盒、裝配，還會導致泵軸損壞(詳圖 31)。

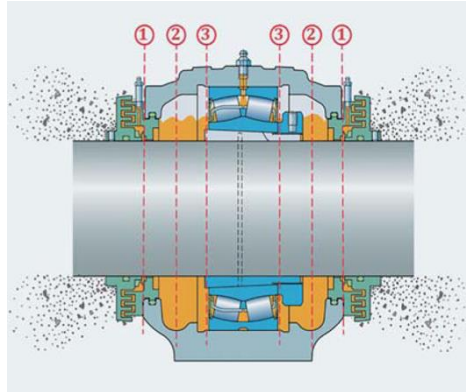


圖 31 軸承盒之污染

32. **在泵軸或葉輪上使用管鉗扳手** 管鉗扳手是管線專用的！在泵軸和葉輪(詳圖 32A)上使用管鉗扳手(詳圖 32B)可能會導致聯軸器端損壞和葉輪上的葉片彎曲。

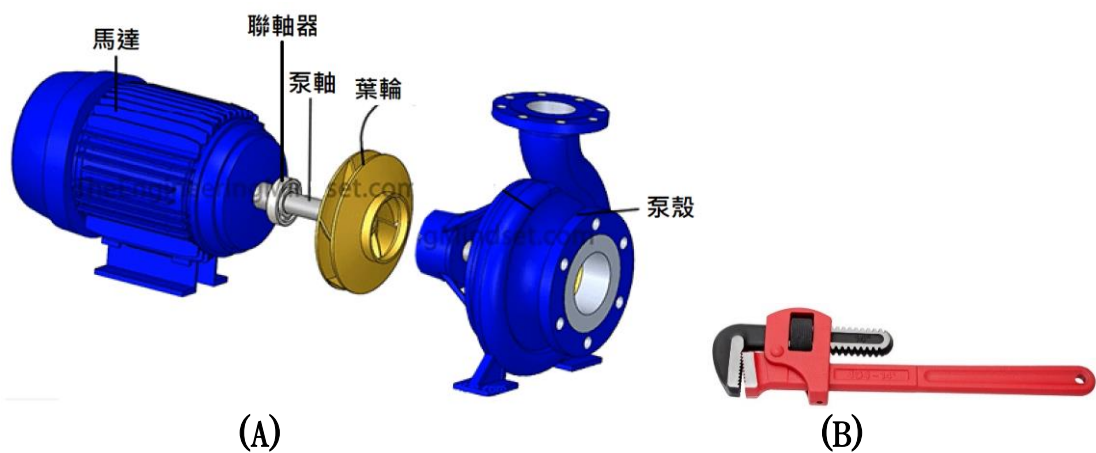


圖 32 (A) 泵浦拆解圖，(B) 管鉗扳手

33. **安裝或維修工具不正確** 使用錘子將聯軸器(圖 33)安裝到泵軸上會損壞止推軸承和機械軸封。泵浦是精密的機器，如果用錘子敲擊，碳質機械軸封面可能會破裂。

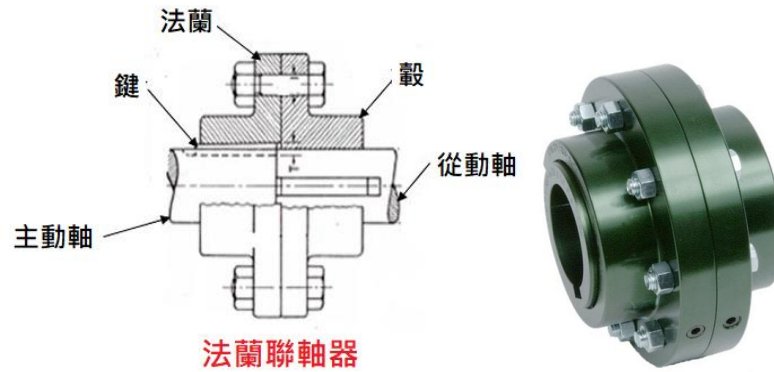


圖 33 法蘭聯軸器示意圖及照片

34. **不正確的對準** 不正確的對準是泵浦故障的一個嚴重原因，高達 50% 轉動機械的損壞與泵浦不對準直接相關，這意味著會增加振動、軸封和軸承提早損壞以及功耗增加。過度的不對準甚至會導致安裝座或泵殼破裂。在完全運轉之前檢查泵浦的對準情況非常重要。聯軸器軸向調整不當會導致泵浦揚程和容量下降以及填料函壓力低，從而導致軸封乾轉和軸承過早失效。聯軸器軸向調整不當是其中心線不重合的情況，如果未對準的軸在一點相遇但不平行，則該未對準稱為角度未對準。如果未對準的軸中心線平行但不重合，則稱該未對準為平行未對準（詳圖 34）。

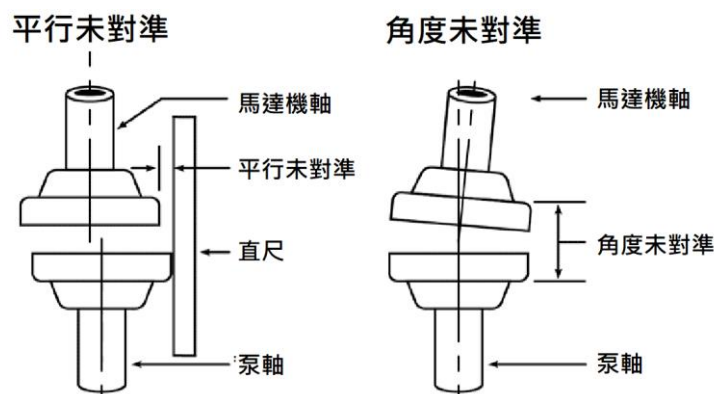


圖 34 不正確的對準

35. **未檢測到振動** 振動可能表明泵浦在其過程中出現嚴重故障，振動會損壞耐磨環、襯套、葉輪以及連接泵浦和馬達的螺栓。振動會導致泵浦的使用壽命縮短四分之三以上，因此如果發生過度振動，工程師必須採取必要的措施來找出問題的根源（詳圖 35）。

機械原因：

- 彎曲的泵軸
- 不平衡的轉動部件
- 泵浦不對準
- 管線應變
- 螺栓鬆動

液壓原因：

- 不在泵浦的最佳效率點附近運轉
- 產品汽化
- 系統中有空氣
- 系統中的亂流
- 其他：
- 來自其他機器的振動

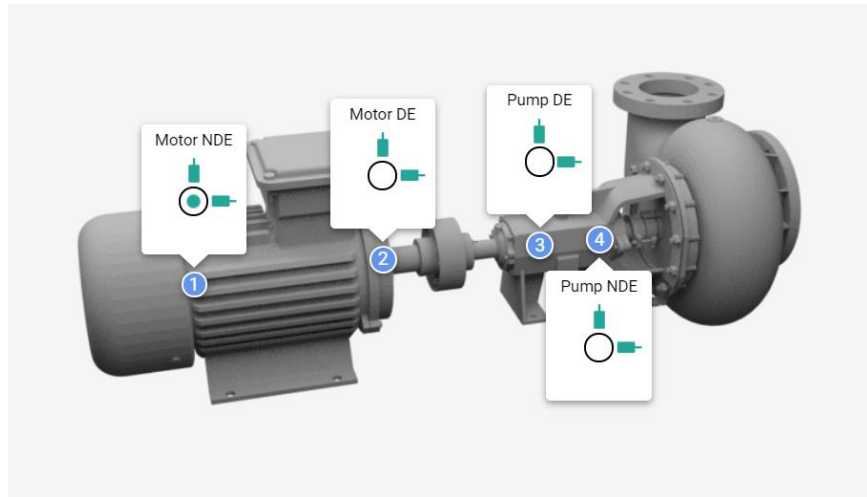


圖 35 泵浦振動之量測點

36. **未遵循泵浦操維手冊記載的初始啟動程序** 不正確地啟動泵浦會導致馬達跳閘和泵軸扭曲導致軌道竄動，此會與內部零件觸碰、軸封失效和軸承壽命縮短直接相關(詳圖 36)。



圖 36 技術人員在泵浦的主要問題上進行雷射校準

37. **不完整的故障分析或完全省略** 在進行泵浦維修時，請務必嘗試找出問題的根源，通常，泵浦外的力量會導致它發生故障，僅通過修復症狀而不去解決整個系統，最終可能會再次對泵浦進行相同的修復，離心泵系統的常見故障模式詳圖 37。

THE CAUSES	THE PROBLEM												
	1 Insufficient Discharge Pressure	2 Intermittent Operation	3 Insufficient Capacity	4 No Liquid Delivery	5 High Bearing Temperatures	6 Short Bearing Life	7 Short Mechanical Seal Life	8 High Vibration	9 High Noise Levels	10 Power Demand Excessive	11 Motor Trips	12 Elevated Motor Temperature	13 Elevated Liquid Temperature
1 Bent shaft					■	■	■						
2 Casing Distorted from excessive Pipe Strain					■	■	■	■		■			■
3 Cavitations	■	■	■	■	■		■	■	■				■
4 Clogged impeller	■		■	■			■		■				
5 Driver imbalance						■	■	■					
6 Electrical Problems (Driver)						■	■	■		■	■	■	
7 Entrained Air (Suction or seal Leaks)	■	■	■				■	■				■	
8 Hydraulic Instability					■	■	■	■					
9 Impeller installed Backward (Double-suction Only)	■		■						■				
10 Impeller Mechanical Seal						■							
11 Inlet Strainer Partially Clogged	■		■				■	■					■
12 Insufficient Flow Through Pump													■
13 Insufficient suction Pressure (NPSH)	■	■	■	■			■	■					
14 Insufficient suction volume	■	■	■	■	■		■	■					■
15 Internal Wear	■		■				■		■				
16 Leakage in Piping, Valves, Vessels	■		■	■									
17 Mechanical Defects, Worn, Rusted, defective Bearings					■		■		■				
18 Misalignment					■	■	■	■		■		■	
19 Misalignment (Pump and Driver)							■	■		■	■		■
20 Mismatched Pumps in Series	■		■			■		■		■			
21 Non condensables Liquid	■	■	■				■	■				■	
22 Obstructions in lines or Pump Housing	■		■	■			■					■	■
23 Rotor imbalance						■	■	■					
24 Specific Gravity Too High	■								■			■	
25 Speed too High									■		■		
26 Speed too Low	■		■	■								■	
27 Total system Head Higher than Design	■	■	■	■	■		■					■	■
28 Total system Head Lower than Design					■		■	■	■	■	■		■
29 Unsuitable Pumps in Parallel Operation	■		■	■	■		■	■		■	■		■
30 Viscosity Too High	■		■						■			■	
31 Wrong Rotation	■			■					■			■	

圖 37 離心泵系統的常見故障模式

38. 依賴反應性維護而不是預防性或預測性維護措施 泵浦在維護程序中有太多次被忽視或遺忘，操作者傾向於僅在泵浦發生故障時進行被動維護，從而導致更長的設備停機時間、泵浦不穩定和昂貴的維修。相反的，應至少每半年或每季度安排一次泵浦預防性維護措施，包括吸入口清潔、腐蝕檢查、振動監測和熱維護，以確保避免孔蝕或軸承磨損。另外亦應考量一個預測性維護計畫，其中包含要執行的維護計畫、雷射校準和平衡，或使用振動分析等技術的預測性維護計畫(詳圖 38)，以便在問題發生之前提前解決問題。

ANNEXURE-1
PREVENTIVE MAINTENANCE CHECKLIST OF LIQUID TRANSFER PUMPS

Area:

Date:

Equipment No:

Frequency: Quarterly

Sr. No.	Description of the job	Observations	Corrective Action	Spare Used
1	Before starting Preventive maintenance of machine "switch off" the panel board.	Ok/Not Ok		
2	Put the board of " Under Maintenance " on the panel board	Ok/Not Ok		
3	Check the motor coupling and spider for any wear and tear, if required replace the same.	Ok/Not Ok		
4	Check the pump assembly for free movement.	Ok/Not Ok		
5	Check the gear box oil, if required top up oil in gear box.	Ok/Not Ok		
6	Check all electrical connections (control panel, all motors,) for any loose connections, burned contacts, signs of overheated wires etc. Tight/replace the same.	Ok/Not Ok		
7	Clean the electrical panel.	Ok/Not Ok		
8	Check the level controllers for proper operation.	Ok/Not Ok		
9	Clean the electrical contactors contact strips.	Ok/Not Ok		
10	Check the overload relay for proper setting as per the motor rating.	Ok/Not Ok		
11	Switch ON the main supply and check for proper voltage supply with multimeter.	Ok/Not Ok		
12	Check for proper earthing.	Ok/Not Ok		
13	Test manually over load relays for tripping at set value.	Ok/Not Ok		
14	Remove the board of " Under Maintenance " on the panel board	Ok/Not Ok		

圖 38 泵浦預防性維護標準作業程序舉例

二、結論

能源使用和泵浦維護佔泵浦總擁有成本的 50% 以上，離心式泵浦故障的主要原因是由軸封裝置、聯軸器、水力問題、靜態接頭和軸承引起的。為了不要讓自己的泵浦成為下一個失敗案例統計的數據，期望能藉由研讀本文對於離心式泵浦各部位損壞原因的介紹，詳細參照泵浦操維手冊，積極培訓操作員，並確立自己的泵浦系統中主要問題的所在，以協助防止費用昂貴的泵浦修理事件的發生。

三、參考資料

1. 36 WAYS TO KILL YOUR PUMP. Kurt Schwei, Crane Engineering, 2020
2. 25 Ways to Break A Pump, Crest Pumps, 2020
3. 12 Reasons Why Bearings Fail, Chris Wilson
4. 12 Tips for Centrifugal Pump Safety, David Holland
5. 10 Ways to Kill Your Centrifugal Pump, Detroit Pump & Mfg. Co., 8/15/2018
6. 10 Ways to Ruin a Pump, Crest Pumps 2020
7. 6 Reasons Why Mechanical Seals Fail, Vern Frahm, Crane Engineering, December 16, 2014
8. 6 Basic Rules of Pump Piping, Jeff Simpson, October 14, 2020
9. Vibration Analysis of Centrifugal Pumps, David Trocel, September 18, 2019
10. How Does Plant Pipe Strain Problems Affect Pumping Systems? Tommy Seales, SEPCO
11. Proper pump piping procedure – 10 steps, Dr. Lev Nelik, January 15, 2014
12. The Pitfalls of Using Oil Rings as a Lube-Delivery, Heinz P. Bloch
13. Review of pump suction reducer selection: Eccentric or concentric reducers, R M Mahaffey, Journal of the South African, institution of civil engineering, Vol 56 No 3, October 2014
14. Common Pumping Mistakes, Jim Elsey, Pumps & Systems, April 2021
15. Pump Intake Design, Hydraulic Institute, ANSI/HI 9.8-1998
16. Impact of Cavitation, Air on Centrifugal Pump Performance, Allan R. Budris
17. Suction Side of Centrifugal Pumps, Himadri Sen, CEO, Pumpsense Fluid Engineering Pvt. Ltd, Pumps Valves and Systems | Mar-Apr 2018
18. Air Entrainment Or Pump Cavitation? Tom Schroeder, August 6, 2015
19. What is Pump Cavitation? And Four Ways to Prevent It, October 1st, 2021, Central States Industrial Equipment (CSI)
20. Suction Pipeline Design, 2022 Michael Smith Engineers
21. NOISY, VIBRATING, CENTRIFUGAL PUMP? MAYBE THE PUMP ISN'T TO BLAME, Vern Frahm, June 19, 2014
22. Safety and Reliability: Piping & Gusseting for Process Pumps, Heinz Bloch
23. Cavitation Explained and Illustrated, E. C. Fitch, Tribolics, Inc.

二氧化碳減量(捕獲、封存及回收再利用)技術探討

江彥雄 博士

摘要

我們這個時代最緊迫的環境議題之一是減少人為二氧化碳排放和降低大氣中的溫室氣體濃度。在不致對現行能源供應架構大幅改觀及全球經濟造成衝擊的前提下，二氧化碳減量(捕獲、封存及回收再利用)〈CCS 及 CCR〉是減少這些有害的二氧化碳排放量的選項。不管是 CCS 或 CCR 都有個共同點，就是二氧化碳捕獲。二氧化碳減量不是一個可以立即達成的目標，必須要採取漸進式，第一優先是完善二氧化碳捕獲技術，降低設備成本、捕獲成本及增加捕獲效率。短期，還是必須要以封存為主要方式。長期，必須要加強再利用的研發，再利用必須是最終目標。本文首先整體說明二氧化碳減量技術，然後個別的分析二氧化碳捕獲、封存及再利用的技術原理及發展展望。

引言

全球人口的迅速增加和越來越多的國家進入工業化，導致能源消耗爆炸性地增長。目前全球能源的需求有 85% 以上是來自燃燒化石燃料[1]。這樣一面倒的依賴化石燃料作為主要的能源的原因是在於化石燃料內含的高能量、目前有充足的儲量以及現代社會的經濟發展形成依賴這些資源的採集與貿易。在可預見的未來，在發電和工業界領域，化石燃料將繼續扮演著重要的角色。但是燃燒這些化石燃料會排出大量的二氧化碳，當這些二氧化碳進入大氣後，會擾亂我們地球已經穩定幾億年的碳平衡。雖然與自然產生的碳，如光合作用產生的二氧化碳，比較，人為的二氧化碳排放在相對上很少，但是其增加的排放量則在很短的時間內影響了全球的氣候[1, 2]。自從 1750 年工業革命開始以來，大氣中的二氧化碳濃度由 280ppm 增加到 2010 年的 390ppm〈圖 1〉[1]。大氣中二氧化碳濃度的增加影響到大氣系統中能量進出的平衡，導致地球表面的平均溫度升高。因此，二氧化碳被認作是主要的人為溫室氣體(GHG)，也是氣候變遷主要的罪人。雖然還有很多的未確定性，毫無疑問的現在有迫切的需要可以減少二氧化碳排放的策略來因應氣候變遷。

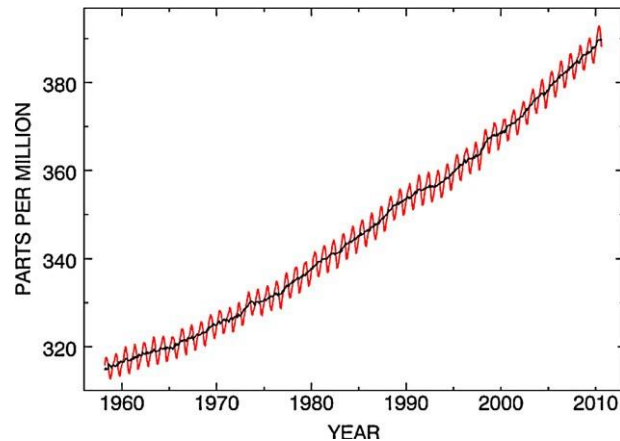


圖 1. 1958-2010 年間的大氣二氧化碳濃度〈莫納羅亞山觀測所〉，顯示持續的大氣二氧化碳濃度增加[3]。

要達到綠色社會的最終目標，我們必須終止我們對化石燃料的依靠而採用乾淨能源，如氫氣燃料或太陽能。而在過度的時期，則我們必須逐漸減少人為的二氧化碳排放而進化到低碳能源消耗[4]。因此必須在目前這能源轉換的時期能階段性的減少二氧化碳的排放。依據聯合國跨國氣候變遷委員會〈IPCC〉，裝置有適當的二氧化碳捕獲技術的先進發電廠可以減少二氧化碳排放 80 - 90%[5]。

在不致對現行能源供應架構大幅改觀及全球經濟造成衝擊的前提下，二氧化碳減量技術：包括二氧化碳的捕獲、分離、運送、儲存及再利用等技術，可以使得繼續使用化石燃料並達成二氧化碳的減量。其中，二氧化碳捕獲在二氧化碳封存各程序中至為重要，預估四分之三的成本在二氧化碳捕獲。

一、二氧化碳減量的路徑

隨著二氧化碳產生的路徑的不同，二氧化碳捕獲減量的技術會不一樣。一般來說，依據化石燃料燃燒的基本化學系統，可以採用三種基本的二氧化碳分離及捕獲方案：〈1〉燃燒前捕獲；〈2〉純氧燃燒；及〈3〉燃燒後捕獲[1]。圖 2 顯示發電廠二氧化碳產生的三個路徑。

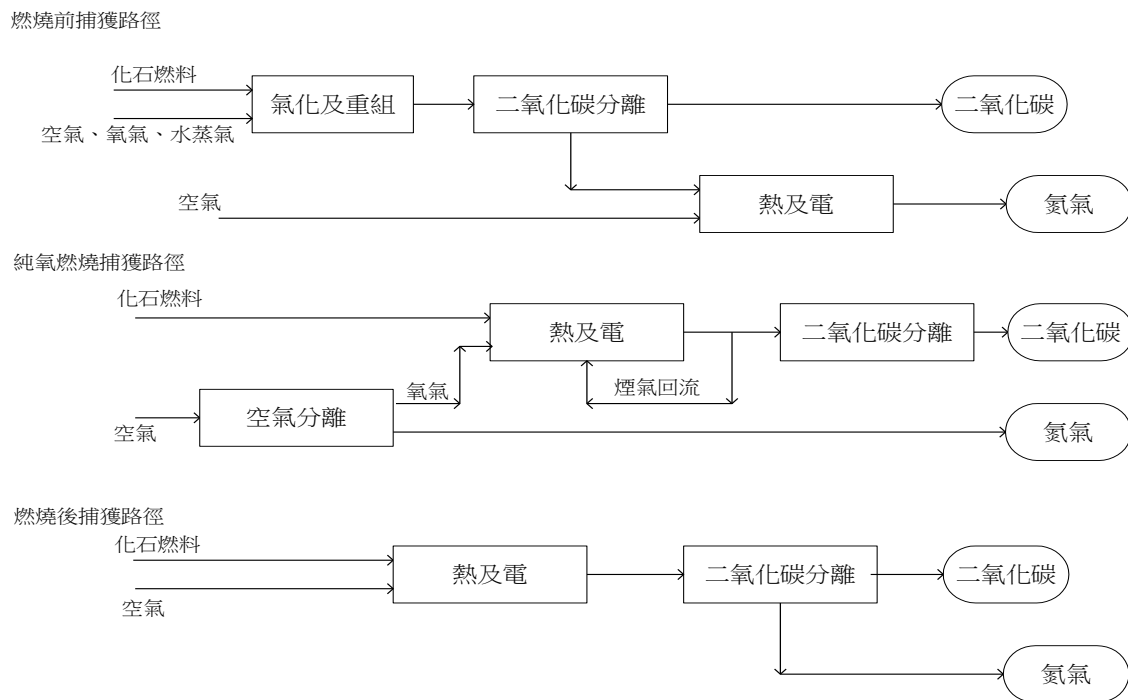


圖 2. 發電廠二氧化碳產生的三個路徑

燃燒前二氧化碳減量的路徑是將燃料與氧氣或空氣反應產生 H_2 。通常，產生的氣體是 CO 與 H_2 的混合氣體，一般稱為合成氣 (syngas)。產生的 CO 再進一步的與水蒸氣在催化反應器中反應成二氧化碳及更多的 H_2 。可以用不同的技術分離二氧化碳與 H_2 。燃燒前捕獲二氧化碳的優點在於低能量需求，但是燃燒富 H_2 時產生的高溫及效率會是使用時的問題。其它的挑戰是高投資金額及民眾反對新的建廠。新的替代方案是使用化學循環來生產合成氣 [6]。

純氧燃燒不是用空氣提供氧氣燃燒，此方法需要純氧氣，純氧可以經由分離空氣生產。此方法的優點是燃燒後煙道氣體排放的二氧化碳濃度非常高，可以高達百分之八十以上，這使二氧化碳捕獲簡單很多。但是若化石燃料在純氧中燃燒，會有很高的溫度，這可以經由回流一部分高二氧化碳濃度的煙道排氣將燃燒溫度降低，圖 2。此方法的缺點是需要純氧氣，生產純氧方法的投資及操作成本都很高。

燃燒後捕獲的方法要由排氣中去除二氧化碳，燃料燃燒所排出來的煙氣的主要成分是氮氣，二氧化碳只佔百分之十幾。燃燒後捕獲的方法是短期內可行的方法，因為很多的技術可以立即安裝到現有使用化石燃料的發電廠及燃燒器。有一個新的方法是將含大量二氧化碳的冷廢氣輸入生物反應器生產海藻形式的生物量體來做為生質燃料使用。燃燒後捕獲方法的另一個優勢是：即使二氧化碳捕獲設備發生故障，發電廠還是可以繼續運轉，其他兩種方法則沒有這種可能性。燃燒後捕獲其他污染物的方法已經行之有年，用來去除空氣污染物，如汞及硫氧化物及氮氧化物氣體。但是分離二氧化碳的技術及材料則需要進一步的研發。

這三種基本的二氧化碳捕獲方案的挑戰及缺陷如下：燃燒前捕獲：〈1〉可用性與操作性的不足是主要的缺陷、〈2〉沒有單一系統能達成整體的功能、〈3〉高成本及〈4〉沒有成熟的大規模系統應用。純氧燃燒：〈1〉技術還只在開發階段，沒有商業化經驗及〈2〉供應純氧的空氣分離需要很多的能源。燃燒後捕獲：〈1〉廢氣的低壓力需要能源增強其壓力、〈2〉低二氧化碳濃度需要處理大量的氣體、〈3〉壓縮捕獲的二氧化碳需要更多的能源及〈4〉吸附劑再生〈例如氨溶液〉需要高能源輸入。這些問題都須要開發先進的材料。

二、二氧化碳減量系統

二氧化碳減量是一個三步驟的系統，包含(1)二氧化碳捕獲，在二氧化碳排到大氣前將二氧化碳與其他排放氣體分離的系統；(2)輸送二氧化碳到封存或再利用場所；及(3)二氧化碳永久封存或再利用。依據其最終處置二氧化碳的方案，二氧化碳減量系統可以區分為 CCS (Carbon Capture and Storage)，二氧化碳捕獲及封存)及 CCR (Carbon Capture and Reuse)，二氧化碳捕獲及再利用兩類。系統的選擇如圖 3。

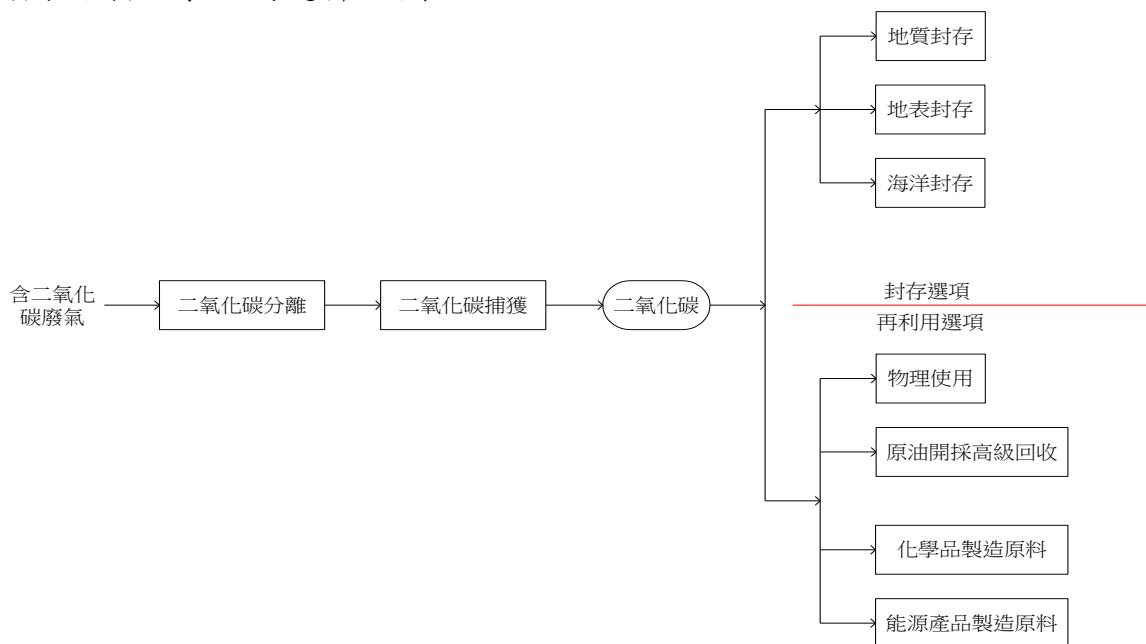


圖 3. 二氧化碳捕獲及再利用系統的選擇。

相對上，二氧化碳的輸送及封存是很成熟的技術。而二氧化碳再利用則依據個別的系統及需求而不同，需個案設計及開發。

不管是 CCS 或 CCR 都有個共同點，就是二氧化碳捕獲。目前有很多的二氧化碳捕獲系統已經進入商業化前的模廠測試階段[7]。然而，二氧化碳捕獲的主要成本在於由排放氣體中將二氧化碳與其它的氣體分離，大約是 CCS 總成本的四分之三。而 CCR，因為再利用的系統不同，再利用的經濟效益不同，無法評估二氧化碳捕獲成本佔整體成本的比例及經濟可行性，須個案評估。

但是，無論如何，二氧化碳捕獲的高成本增加 CCS 或 CCR 商業化的困難度。因此，幾乎所有的現有的技術降低成本的最可行方法是將捕獲媒體的分離效率最大化及將捕獲系統的能源及資源需求最小化。因此，開發高分離能力的材料是最大的挑戰。有一些論文討論這個議題，業界的專家提供基本的知識、進展及展望[1、2、4、7]。

三、二氧化碳捕獲技術

在不致對現行能源供應架構大幅改觀及全球經濟造成衝擊的前提下，二氧化碳減量技術：包括二氧化碳的捕獲、分離、運送、儲存及再利用等技術，可以使得繼續使用化石燃料並達成二氧化碳的減量。其中，二氧化碳捕獲在二氧化碳減量各程序中至為重要，預估四分之三的成本在二氧化碳捕獲。因此需要接受最優先的研發。

二氧化碳捕獲技術包含兩個項目：系統及材料。圖 4 說明二氧化碳捕獲使用的系統技術及材料技術；每一個系統技術，低溫分離除外，皆需要不同的材料，有些材料可以使用在不同的系統技術。

吸收〈例如，溶劑洗滌〉是一個成熟的二氧化碳分離方法，經常在石油及化學業使用。吸收有兩類：〈1〉物理吸收，溫度及壓力的影響很大〈物理吸收通常需要高壓及低溫〉及〈2〉化學吸收，使用酸鹼中和反應吸附二氧化碳〈通常使用鹼液及溶劑〉。常用的溶劑有胺類〈如單乙醇胺〉、氨水、特殊溶劑、及含氟溶劑。最新的產品是離子化液體，提供很高的二氧化碳吸收可能性及環保[8，9]。

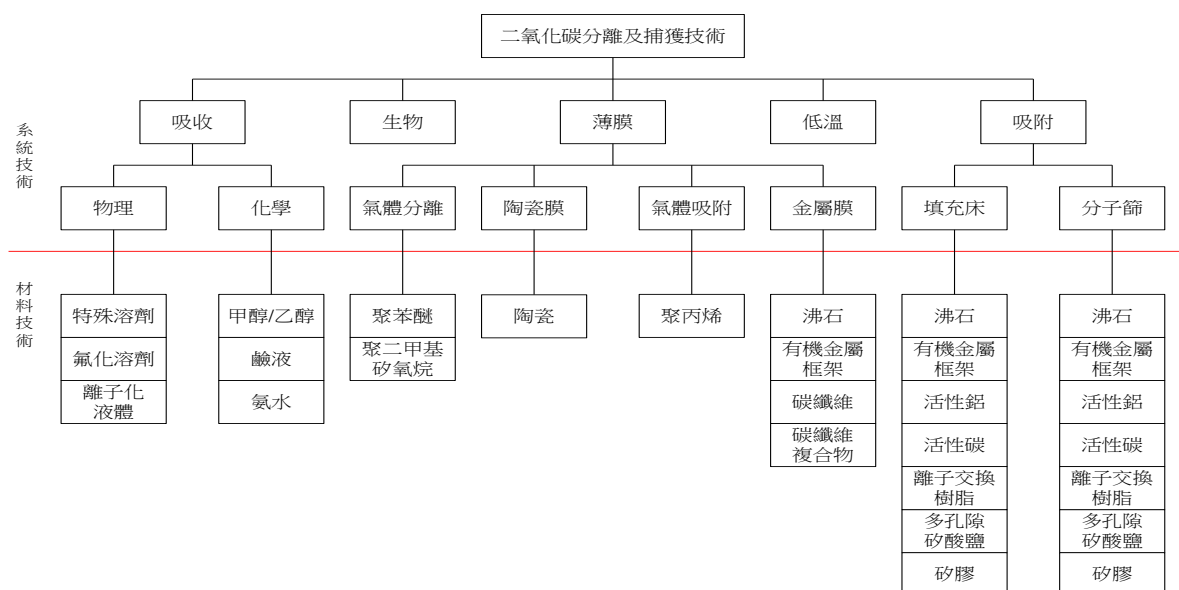


圖 4. 二氧化碳分離及捕獲使用的技術及相關的材料。

生物方法可以用來分離二氧化碳[10, 11]。例如，最近使用光合生物反應器的二氧化碳海藻生物固定作二氧化碳捕獲的研究已逐漸增加。最新的研究也有使用可以化學自製養料的微生物，使用無機化學藥品而不是光能，來捕獲二氧化碳[12]。

薄膜分離的原理是依據氣體與薄膜材料之間的物理及/或化學互動的差異。薄膜分離可以，依據其大小〈動力學〉及/或親合力〈熱力學〉，調節到允許一些成分優先通過薄膜。薄膜的應用有：燃燒前捕獲的二氧化碳/氫氣分離、燃燒後捕獲的二氧化碳/氫氣分離。目前市面上有很多種不同的薄膜材料及系統，有些已經發展到商業規模，可以使用在二氧化碳分離技術。以薄膜技術為主的大規模二氧化碳捕獲技術的功能及成本控制在薄膜材料。無機陶瓷薄膜及有機聚合物薄膜都曾經使用在燃燒後二氧化碳分離。然而，到目前為止，一段式無機陶瓷薄膜及有機聚合物薄膜很難達成高效能的二氧化碳分離〈雖然從成本的觀點可行性很高〉。薄膜二氧化碳分離技術還是需要新的材料研發。

低溫蒸餾使用的分離原理是冷卻及凝結，作為氣液分離的歷史很長。學理上這個技術是很好的二氧化碳分離技術，然而，在實用能源的需求過高，沒有經濟效益。通常在高濃度二氧化碳分離的應用比較有經濟效益，在純氧燃燒應用中可以用來生產氧氣。目前大規模由空氣中分離生產氧氣都使用冷凍分離。

以吸附為基礎的氣體分離已經是成熟的技術，但是必須針對特定的化學物質選擇吸附劑。雖然已經有各種不同針對二氧化碳分離的吸附性分離材料，但是還是需求要提升現有吸附劑的效率及開發新的吸附劑。然後再結合這些吸附劑技術與各種系統技術將分離的效能最佳化。傳統的固態吸附劑有活性碳、矽膠、離子交換樹脂、沸石、中間多孔矽酸鹽、活性鋁及其他改良表面的多孔媒體。近幾年，有一些新的氣體分離材料吸附劑被開發出來，如碳纖維及他們的複合物以及有機金屬框架。文獻[13]有很深入的討論由大型人為固定污染源二氧化碳捕獲的吸附劑。隨著再生的方法而不同，可以採用的一些二氧化碳分離的吸附系統有〈1〉真空及壓力震動吸附〈VSA 及 PSA〉、〈2〉溫度震動吸附〈TSA〉、〈3〉電震動吸附〈ESA〉、〈4〉模擬移動床〈SMB〉及〈5〉吹掃置換。

很明顯的，這些技術的進展都很依靠材料的開發。這些開發的挑戰在於如何將這些技術由實驗室轉移到實廠的嚴酷操作條件，而同時需要達成最高的效率及最低的成本。

二氧化碳捕獲技術的研究成長很快，每天都在探討及開發很多新的技術。有一些技術已經到了實廠運用的階段，但是大部分的技術都需要改良技術能

力及降低相關的成本。最成熟的技術，燃燒後氨水吸收，已經在業界實踐了很長一段時間[14]。在這同時，有很多種類的材料使用在不同的技術，也有一些新的材料在開發中。然而，這些技術的商業化還有很大的挑戰，不只是最終的技術及系統，還有捕獲材料的選擇及開發。

目前，有三種方法已經進入到商業化，〈1〉化學吸收，使用氨溶劑在燃燒後捕捉二氧化碳、〈2〉純氧燃燒及〈3〉鈣循環[15]。在最近十年越來越多的研究在探討使用薄膜分離技術及使用先進的吸附劑，如沸石及有機金屬框架〈MOF〉，來吸附二氧化碳。調整傳統的吸附劑性質的挑戰性很高，這就是這些新的、先進的吸附劑成為非常熱門的研究議題。因為分離是動力學〈選擇性擴散係數〉與熱力學〈吸附〉特性的結合，未來的材料必須考慮到氣體分子的大小及電子特性。二氧化碳〈 3.30 \AA 〉、甲烷〈 3.76 \AA 〉與氮氣〈 3.64 \AA 〉之間動力學直徑相對的微小差異使只依據分子大小的氣體分離技術非常有挑戰性，因此要使用電子特性的差異，如四極動量及極化，來完成分離的任務[16]。

三種基本二氧化碳分離技術：吸收、吸附及薄膜系統已經受到很深入的探討，其評估皆使用胺溶液吸附系統作為基準點。然而，雖然有很深入探討，目前沒有一種技術有實廠證明能符合美國能源署設定的要求：電用量增加〈cost of electricity, COE〉在 35% 以下而能達成 90% 的二氧化碳捕獲[17, 18]。幾乎所有的吸收及化學吸附系統的二氧化碳分離及捕獲步驟皆是經由化學分子互動形成以二氧化碳為基礎的複合物，然後再經由增加溫度來再生二氧化碳。大部份的能源需求都在再生系統[19]。因此非常的需要開發能在再生方面可以大量的降低操作成本的轉換性二氧化碳捕獲材料及系統。在此，如果能成功的因應以上的挑戰，則使用可以提供高能源效率的物理吸附劑及薄膜的二氧化碳捕獲方案來取代目前以胺吸收為主的吸收系統。

使用物理吸附劑，如碳質的材料及無機材料，如沸石，的二氧化碳捕獲比化學吸附劑有更高的能源效率。這是因為不需要在吸附劑與被吸附物質之間形成新的化學鍵，如此再生的能量可以降低很多[13]。然而，傳統的碳質材料，如活性碳，的極限是低二氧化碳/氮氣選擇性〈約 10〉，雖然沸石展示蠻高的選擇性，他們的問題在於低二氧化碳承載量，而且它們的功能會因為氣體中有水分而削弱[13、19]。因此亟須開發有高二氧化碳吸附容量及高二氧化碳/氮氣選擇性的先進物理吸附劑。

以薄膜為基礎的二氧化碳分離方法有最高的二氧化碳捕獲能源效率[19]。然而，傳統高分子薄膜的二氧化碳/氮氣選擇性較低〈低於 100〉。如果要薄膜為基礎的分離方法能商業可行，二氧化碳/氮氣選擇性必須在 200[20]。即使具有分子篩薄膜，傳統分子篩〈如沸石〉的二氧化碳/氮氣分離還是有限制，其原因為他們的動力直徑二氧化碳〈 3.3 \AA 〉及氮氣〈 3.64 \AA 〉很相近。因

此，非常需要開發有高二氧化碳/氮氣分離性的分子篩薄膜。

總結，穩定性、可放大性、二氧化碳親合性及使用時的能源需求是收尋能與上述技術競爭的捕獲材料的主要考量。氣體與吸附劑在分子層次互動的工程設計，如設計二氧化碳分子籃，將是未來成功的關鍵因素。

四、二氧化碳封存

二氧化碳封存是指利用物理、化學、生化等機制把二氧化碳存放在特定的自然或人工容器中，例如森林、海洋、地層、人工貯槽等。大規模的二氧化碳封存方式，有地質封存、地表封存及海洋封存等三大類。[21]

1. 地質封存：

地質封存是選擇自然界封存化石燃料的地質特性場所，把二氧化碳封存在類似地層中。目前最常用的地質封存場所是將二氧化碳封存在廢棄的油氣田中，利用現有油氣田的地質特性。二氧化碳地質封存的選項有結構封存、水力封存、溶解封存及礦物化封存等四種。結構封存是利用特殊地質結構及其下方的地層空隙封存二氧化碳，此特殊地質結構必須要有良好的氣體阻絕特性。水力封存是利用地下水流動緩慢的特性，延緩二氧化碳在岩層及地下水中的移動速度。溶解封存是利用二氧化碳在高壓地下水中的溶解度增加，使二氧化碳的封存量及封存穩定性增加。礦物化封存是利用二氧化碳的反應性，與地層環境中的其他礦物質產生化學反應而形成穩定的固態化合物，增加二氧化碳的封存量及封存穩定性。為了提高二氧化碳的儲存量，地質封存二氧化碳時需要先壓縮二氧化碳增加其密度。通常地質封存的深度必須是 800 公尺以上。雖然二氧化碳地質封存的工程技術已經成熟，但是個案的可行性研究需要探討封存場所的選擇、封存安全性及封存穩定性等。做這些探討則需要研究二氧化碳在地底深處的性質，如移動性；也要探討二氧化碳注入對周遭地層可能會造成的物理及化學性質改變，以及探討二氧化碳地質封存對人類及生態環境造成危害的可能性。

2. 地表封存：

二氧化碳的地表封存是將二氧化碳與金屬礦物質，如鈣、鎂、矽等，反應後形成穩定的碳酸鹽化合物再於以儲存。二氧化碳地表封存的可行性取決於封存過程的能量需求、反應物的取得性及成本、以及封存的穩定性等。

3. 海洋封存：

海水能自大氣層吸收二氧化碳。海洋封存是人為的加速表層及深層海水的混合速率來增加海水對二氧化碳的吸收速率及吸收量。海洋封存的

行性必須考量增加海水中二氧化碳的濃度是否會對海洋生物造成不利的影響，例如遷移能力、降低海生物鈣化能力、繁殖率及成長速率等。二氧化碳可以以氣體、液體、固體或水合物型態作海洋封存。只要時間足夠任何型態的二氧化碳都會溶解在海水中，但其溶解速率取會因二氧化碳的型態、深度、溫度、水質，以及區域性的水流特性而有不同。

五、二氧化碳回收再利用

將捕獲的二氧化碳封存只是暫時的解決二氧化碳的問題，就像廢棄物掩埋一樣，會有很多未知的後遺症，因此如果能再利用捕獲的二氧化碳，不僅可以達成二氧化碳減量的目的，亦可以減少資源的消耗。二氧化碳的再利用方式有：物理使用、原油開採高級回收、化學品製造原料、能源產品原料等。

1. 物理使用：

作為冷凍媒介及飲料。冷凍媒介就是我們習知的乾冰，飲料則是我們常喝的發泡飲料，如可樂、啤酒等。不過在這些用途中，二氧化碳在短時間內即會再度被排放至大氣中，其平均停留時間視耗用情形大約只有一兩星期甚至以天計。因此不是二氧化碳再利用的終極方式。

2. 原油開採高級回收(EOR)：

石油的開採技術的演化有三個階段：一級回收、二級回收、三級回收(或稱高級回收)，一級回收及二級回收僅能開採儲油層中 10-20%的原油，隨著儲油量的減少，開採的難度增加。原油開採的高級回收將二氧化碳注入儲油層，增加原油的回收量。圖 5 為使用二氧化碳的原油開採高級回收技術示意圖，其原理為將二氧化碳灌注入油層後，用壓力強迫二氧化碳和原油混合，減少其黏性而增加其流動速度，同時也能維持儲油層的壓力，將原油推向開採井流動，而增加開採量。

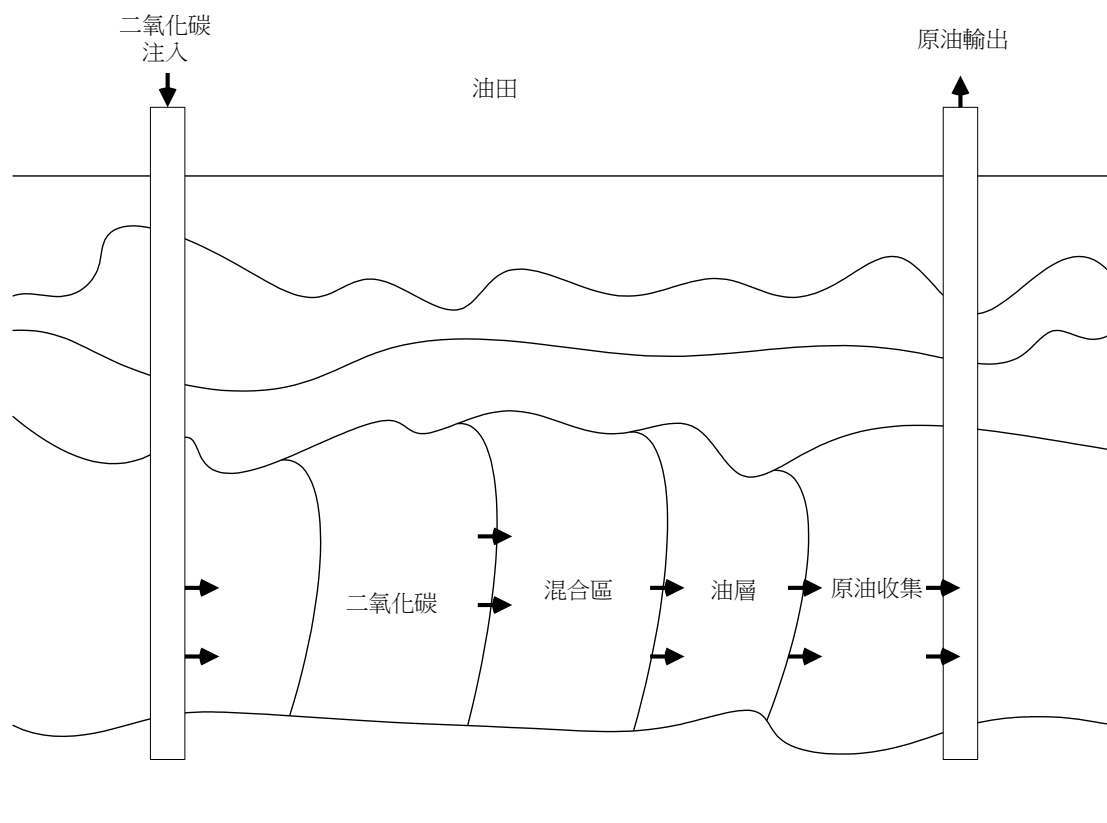
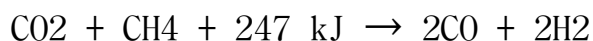


圖 5. 原油開採高級回收 [22]

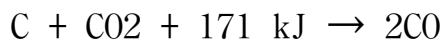
3. 化學品製造原料：

以二氧化碳做為碳源製造化學品的優勢除了能夠減少二氧化碳排放量外，還有以下的優勢：無毒性、低成本、可再生、來源穩定無缺貨的憂慮、及能幫助環境中的碳平衡等。在過去二氧化碳已經作為製造尿素、水楊酸、碳酸酯等化學品的原料，而其中最大宗是用來生產尿素。除了這些工業製程外，有三十多位專家集體寫了一篇報導詳列以二氧化碳為起始原料之化學反應 [23]，例如：

Reforming of Methane (甲烷重組)



Gasification (氣化)



Methanation (甲烷化)



Methanol Synthesis (甲醇合成)



Enhanced Photosynthesis (光合作用)

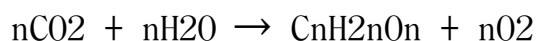


圖 6 為一些代表性以二氧化碳為原料的化學產品及其反應中間物，[24]

圖 7 則為以二氧化碳為基礎的各種代表性反應的總覽。[25]

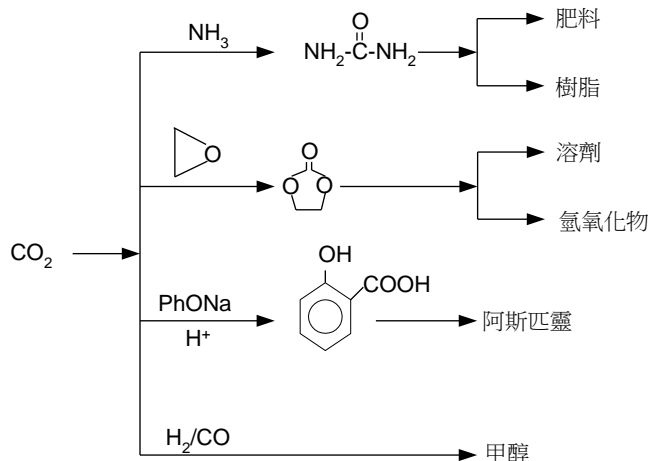


圖 6 以二氧化碳為原料的化學產品 [24]

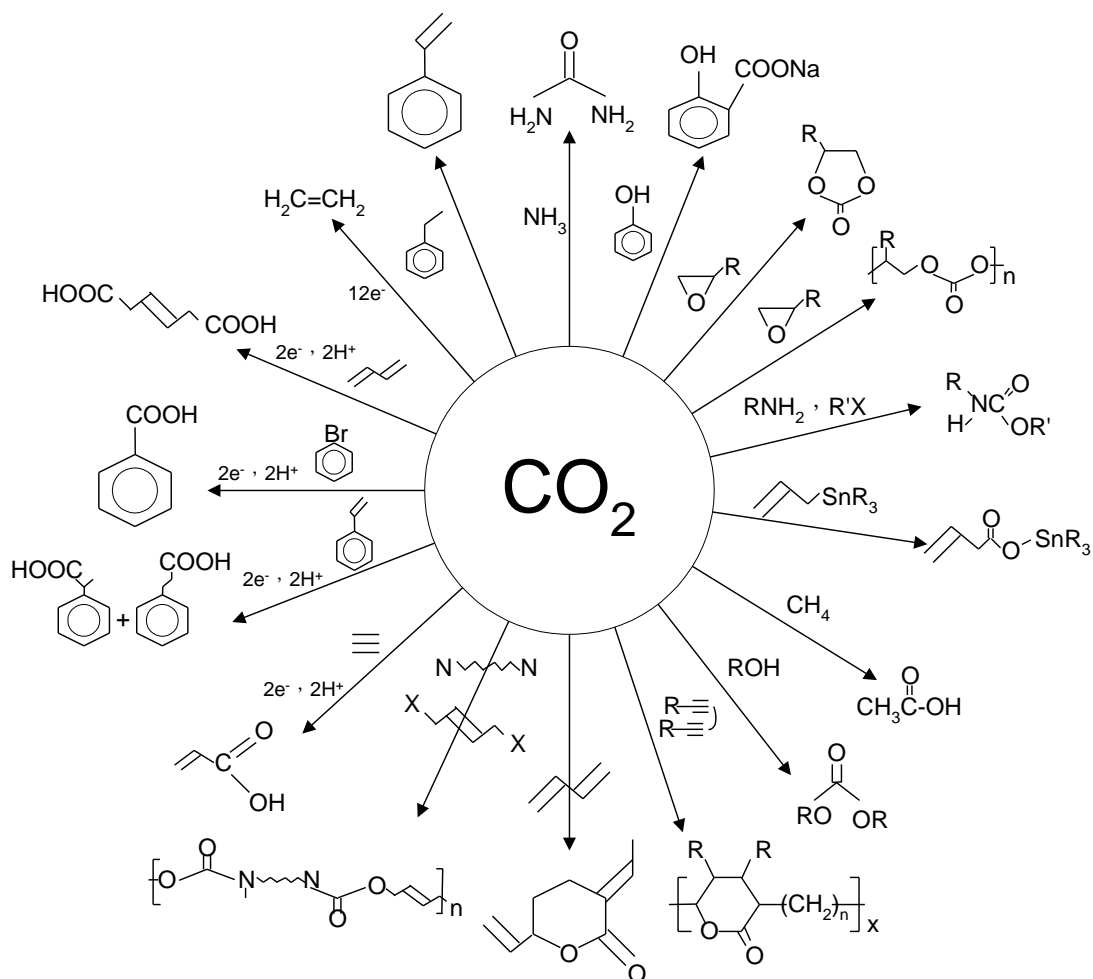


圖 7. 以二氧化碳為基礎的各種代表性反應總覽 [25]

二氧化碳再利用的重點有：以二氧化碳為原料進行聚合反應生產高分子材料、及進行光化學反應製造甲酸、甲醛、甲醇和甲烷。[26、27、28、29、30、31]。

4. 能源產品製造原料：

其目的是將由發電廠排放氣中捕捉之二氧化碳轉換為大量且可以快速消耗的能源產品。這一類的能源產品是碳循環，如圖 8 所示，將煙囪排放的二氧化碳分離、濃縮或轉化後，再轉化成可利用的碳型態，再燃燒後產生二氧化碳，再循環。

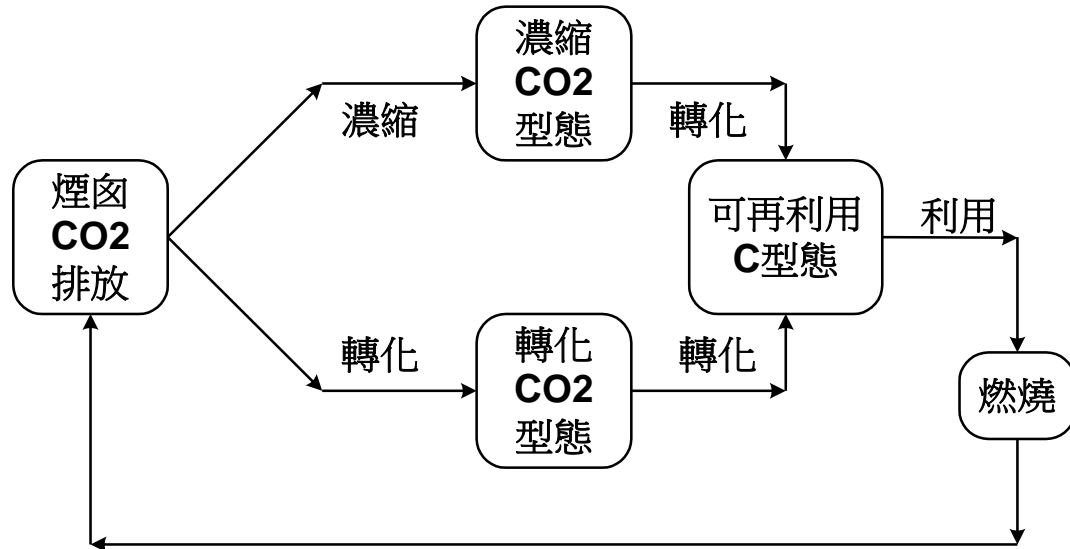


圖 8. 二氧化碳的能源循環。

六、結論

減少大氣層中的二氧化碳，是 21 世紀人類最主要的目標。在不致對現行能源供應架構大幅改觀及全球經濟造成衝擊的前提下，二氧化碳減量技術：包括二氧化碳的捕獲、分離、運送、儲存及再利用等技術，可以同時繼續使用化石燃料並達成二氧化碳減量的雙贏效果。其中，二氧化碳捕獲在二氧化碳減量程序中占有最重要的地位，預估四分之三的成本在二氧化碳捕獲。因此需要接受最優先的研發。

將捕獲的二氧化碳封存只是暫時的解決二氧化碳的問題，就像廢棄物掩埋一樣，會有很多未知的後遺症，因此如果能再利用捕獲的二氧化碳，不僅可以達成二氧化碳減量的目的，亦可以減少資源的消耗。而且雖然二氧化碳是地球暖化的主要罪人，二氧化碳減量的主要需求還是來自國際條約的約束。對企業來說，只是成本支出。如果只採用二氧化碳封存，即使企業有心，但是成本的支出對企業的影響會影響到企業的商業利益，接受度會很低。因此，二氧化碳的減量還需要誘因：那就是能將捕獲的二氧化碳能夠就近投入再使用，如此除了二氧化碳減量之外，商業利益亦可同時得到保障。早期二氧化碳多是來自天然氣的純化，而可以使用在鄰近的油田做原油開採高級回收，有時候捕獲的二氧化碳也可以用在鄰近的工廠作為製造化學品的原料。隨著二氧化碳捕獲量的增加，二氧化碳的壓縮、運送、再利用也相當重要。因此

要改善目前二氧化碳減量的瓶頸，必須要有先進的長程運輸技術的開發、各種高效率捕獲製程的研發及再利用的開發。

二氧化碳減量不是一個可以立即達成的目標，必須要採取漸進式，第一優先是完善二氧化碳捕獲技術，降低設備成本、捕獲成本及增加捕獲效率。短期，還是必須要以封存為主要方式。長期，必須要加強再利用的研發，再利用必須是最終目標。

在地質或海洋封存二氧化碳的場址選擇時，必須個案考量其封存安全性及封存穩定性。也要更進一步的探討二氧化碳注入對周遭地層可能會造成的物理及化學性質改變，以及二氧化碳地質封存對週遭生態環境造成危害的可能性。

以二氧化碳做為碳源以生產化學或能源產品，是一值得推動的二氧化碳減量策略，而且也是二氧化碳的最終處理方式。必須在學術界全力的開展研發。政府機構也需要灌注研究基金，鼓勵研究機構的參予。

以二氧化碳做為碳源用來製造化學產品與能源產品中，必須使用到許多的先進的技術，例如清潔生產製程、奈米科技、材料科學及生物化學科技等。要參予，必須要開發及掌握關鍵技術，才能有競爭力。二氧化碳再利用技術目前仍處在發展階段，現階段投入研發是正好的時機。二氧化碳再利用技術的研究是針對特定的反應途徑及技術，有機會開發出以二氧化碳為碳源之化學產品或能源產品的製程。

七、參考文獻

- [1] S. A. Rackley, Carbon Capture and Storage, Elsevier, 2010。
- [2] R. E. Hester, R. M. Harrison, Carbon Capture: Sequestration and Storage, RSC Pub, 2010。
- [3] ESRL, ESRL's Global Monitoring Division, Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, 2010。
- [4] S. A. Roosa, A. G. Jhaveri, Carbon Reduction: Policies, Strategies and Technologies, The Fairmont Press, 2009。
- [5] IPCC, IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Cambridge University Press, 2005。
- [6] J. Bolhàr-Nordenkamp, Chemical Looping for Syngas and Power Generation with CO₂ Capture: Pilot Plant Study and Process Modeling, Suedwest-deutscher Verlag fuer Hochschulschriften, 2009。

- [7] E. J. Wilson, D. Gerard, Carbon Capture and Sequestration: Integrating Technology, Monitoring, Regulation, Wiley, 2007.
- [8] M. Hasib-ur-Rahman, M. Siaj, F. Larachi, Chem. Eng. Process 49 (2010) 313.
- [9] D. Wappel, G. Gronald, R. Kalb, J. Draxler, Int. J. Greenhouse Gas Control 4 (2010) 486.
- [10] J. R. Benemann, Energy Convers. Manage. 34 (1993) 999.
- [11] K. Maeda, M. Owada, N. Kimura, K. Omata, I. Karube, Energy Convers. Manage. 36 (1995) 717.
- [12] K. O. Kwak, S. Jung, S. Y. Chung, C. M. Kang, Y. I. Huh, S. O. Bae, Biochem. Eng. J. 31 (2006) 1.
- [13] S. Choi, J. H. Drese, C. W. Jones, ChemSusChem 2 (2009) 796.
- [14] G. T. Rochelle, Science 325 (2009) 1652.
- [15] D. M. D' Alessandro, B. Smit, J. R. Long, Angew. Chem., Int. Ed. 49 (2010) 6058.
- [16] J. R. Li, R. J. Kuppler, H. C. Zhou, Chem. Soc. Rev. 38 (2009) 1477.
- [17] A. D. Ebner, J. A. Ritter, Sep. Sci. Technol. 44 (2009) 1273.
- [18] U. S. DOE, DOE/NETL's Carbon Capture R&D Program for Existing Coal-Fired Power Plants Energy, U. S. DOE, 2009.
- [19] H. Herzog, J. Meldon, A. Hatton, Advanced Post-Combustion CO₂ Capture, Massachusetts Institute of Technology, Boston, MA, 2009.
- [20] M. T. Ho, G. Leamon, G. W. Allinson, D. E. Wiley, Ind. Eng. Chem. Res. 45 (2006) 2546.
- [21] Steinberg, M., CO₂ Mitigation and Fuel Production, Symposium on CO₂ Conversion and Utilization in Refinery and Chemical Processing, ACS meeting, San Francisco, CA, p74, March 26-31 2000.
- [22] 林鎮國, 科學發展 2007 年 5 月 413 期 p. 28.
- [23] Arakawa, H. et al. Catalysis I. research of relevance to carbon management: Progress, challenges, and opportunities. Chem. Rev. 2001, 101 (4), pp. 953-996.
- [24] 馬振基、阮韶銘、張海瑞、羅國峰, 二氧化碳回收再利用之研究工業污染防治, 第 88 期 (Oct. 2003) 163.
- [25] 陳航、陳郁文, 二氧化碳之捕獲及再利用技術之應用介紹, 工業污染防治, 第 94 期 (Apr. 2005) 117
- [26] Yoshida, Y., Inoue, S. New Synthesis of Carbamic Esters from Carbon-Dioxide, Epoxides, and Amines. J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1 1979, (12), pp. 3146-3150.

- [27] Morgenstern, D. A., Wittrig, R. E., Fanwick, P. E., Kubiak, C. P. Photoreduction of Carbon-Dioxide to Its Radical-Anion by $[\text{Ni}_3(\mu_3\text{-I})_2(\text{dppm})_3]$ - Formation of 2 Carbon-Carbon Bonds Via Addition of 二氧化碳 to Cyclohexene. *J. Am. Chem. Soc.* 1993, 115 (14), pp. 6470-6471.
- [28] Kuwabata, S., Nishida, K., Tsuda, R., Inoue, H., Yoneyama, H. Photochemical Reduction of Carbon-Dioxide to Methanol Using ZnS Microcrystallite As A Photocatalyst in the Presence of Methanol Dehydrogenase. *J. Electrochem. Soc.* 1994, 141 (6), pp. 1498-1503.
- [29] Saladin, F., Forss, L., Kamber, I. Photosynthesis of CH_4 at ATiO_2 Surface from Gaseous H_2O and 二氧化碳。 *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* 1995, (5), pp. 533-534.
- [30] Kuwabata, S., Uchida, H., Ogawa, A., Hirao, S., Yoneyama, H. Selective Photoreduction of Carbon-Dioxide to Methanol on Titanium-Dioxide Photocatalysts in Propylene Carbonate Solution。 *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* 1995, (8), pp. 829-830.
- [31] 談駿嵩、鄭旭翔，化石燃料排放二氧化碳之捕捉儲存與利用技術研討會，中技社，pp. 1-26 (2006)。

徵稿啟事

- 一、本會會訊提供會員及專家學者發表環境領域新知、技術與專業經驗等。
- 二、專題稿件以環境相關理論與實務、環境法規、環境保護理念之論述為原則，採技術報導或論文等撰寫形式皆可，文長以 8000 字以內為原則，所附圖表或照片應清晰，稿件禁止以公司集體智慧，有著作權、業主版權疑問或抄襲複製等情事，以免觸法。
- 三、會訊以雙月刊週期出版，出版日期為奇數月 10 日，投稿稿件須於出版日之 15 日以前，以電子檔案寄(送)抵公會。
- 四、專題稿件稿酬之文字單價為每字新台幣 2 元，原創照片與圖表單價為每幀新台幣 500 元，每篇稿酬以新台幣 12,000 元為上限；特殊專文之稿酬另案處理。
- 五、本會負有以下權利與義務：(一) 專題稿件之審閱。(二) 提供審閱意見請撰稿者修改或回覆。(三) 決定專題稿件刊登與否。專題稿件之審閱及審閱意見之提供，必要時得請相關專長之專家學者擔任。
- 六、會訊為專業交流之發佈管道。具名撰稿者刊登之稿件內容，不代表本會的意見或立場。具名撰稿者應遵守智慧財產權等相關法令，以及無條件負擔因其稿件內容刊登所衍生之責任。

各公會會員大會、理監事會會議紀錄

中華民國環境工程技師公會全國聯合會

無

台灣省環境工程技師公會

無