



化工與人類生活





化學工程與我們的生活

我們的現代生活裡，從衣、食、住、行至育、樂等各方面所用的衣裳、建材、家具、種稻、小麥等所需之肥料，烹煮時添加的調味品，汽車不可缺之汽油、輪胎、潤滑油，生病時治療所需之藥品，學校上課時所需之文具紙張，田徑場之 PU 跑道，各種球類運動所使用的球及道具，現代人不可缺的手機或相機之電池等等，無數之生活用品，無一不是化學工業直接或間接的產品。隨著化學工程之誕生，化學工程師們以他們獨特的量產技術，將這些產品以最經濟、最安全的方法量產，讓社會大眾能價廉物美地享受著昔日帝王巨富的生活！圖 1-1 揭示化學工業（Chemical Industry）之範疇與社會之關係。

在此緒章裡，將先簡述化學工業如何豐裕我們的生活，再以幾個大家較熟悉的重要案例回顧近代化學工業之變遷，藉其變遷的過程，來說明化學工程師（Chemical Engineer）們如何把化學家在實驗室發明搬到生產工廠，量產這些產品讓社會大眾能輕鬆地享受著化學家發現之豐果。



我們穿在身上的衣服之布料有天然纖維和人造纖維兩大類，天然纖維又分取自動物的毛類、皮革、蠶絲等，或原自植物如棉及麻等；雖然天然纖維有獨特之優點，但在有限地球裡，天然纖維之產量終究有限，是很難滿足人口劇增的人類之需求，二十世紀初化學工業由紙漿纖維仿造蠶絲成功後，便陸續推出各種不同的高分子紡絲，如耐綸（Nylon）（見 P.14）、亞克力棉（Acrylic fiber）、聚乙酯（Polyester）等多種人造纖維，這些合成纖維不僅具有質輕、強韌、免燙、快乾、質感佳等優點，甚至有防火、

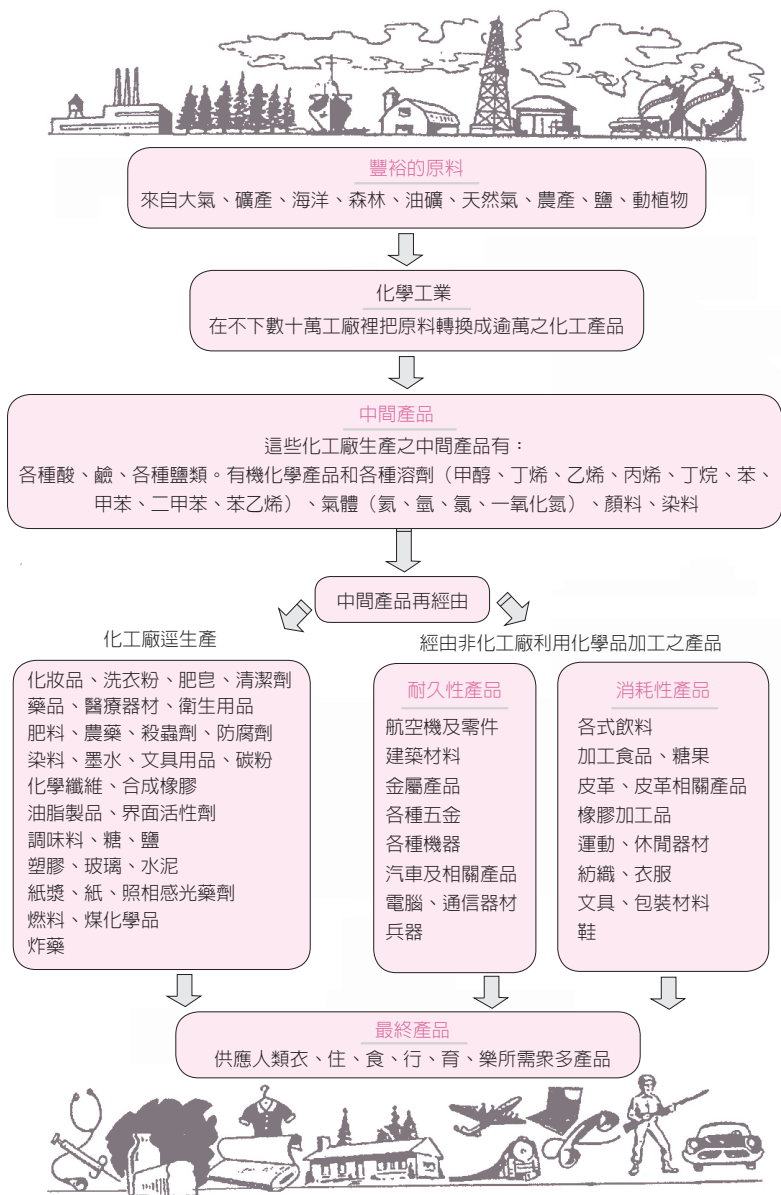


圖 1-1 化學工業之範疇

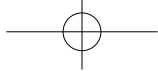
防蟻等功能，且因其原料來自生產量大之石化工業，在量上、價格上，甚至加工上，都超越了天然纖維，讓人們不必再愁沒有布料蔽身禦寒，所以人造纖維和人造皮之出現不僅創出五彩繽紛之社會，也讓人類去禁獵幾近絕種之動物，進而保護了自然生態。

食 十九世紀初歐洲人口學者就擔憂耕地有限之地球如何生產足夠糧食來滿足以幾何級數劇增之人類，化學工業在二十世紀初成功開發固定大氣中之氮合成氨（見 P.11），也開發了量產植物成長所需之含鉀、含磷之肥料（Fertilizer），豐饒了栽植五穀的土壤，培植了土地的生產力，在饑饉的威脅下，拯救了一世紀裡增加五倍人口的人類。化學工業也生產 PE Sheet 提供構築輕簡又廉價之溫室，讓氣候嚴酷地區的農民也能栽培大眾所需之有機蔬果，另外化學工業不僅大量提煉食鹽、砂糖，也釀造酒和醋，生產各種不同的調味品、人造奶油和飲料等。尤其近年來相當風行之健康飲料或加工食品，這些也都是化學工業產品。

此外，化學工業也生產冰箱所需之冷媒、保鮮劑，甚至形形色色的瓷製碗盤，以豐裕我們的食生活。

住 在臺灣的房屋為減少颱風或地震災害，結構體多採用混凝土鋼筋，使用了不少化學工業所生產的各種水泥、瓷磚、鋼骨、鋁材，乃至玻璃帷幕牆所用之強化玻璃、防水、防漏所用的各種合成膠、貼壁美化外觀之人造大理石等。在室內，從天花板、隔間所使用的人造板材、耐火隔音之板材、地板所使用之瓷磚或塑膠磚、照明燈具、美化內部的油漆塗料，以至於家具使用的人造皮、耐磨布料、床墊之海綿、浴室裡的浴缸、洗臉盆，為了節能，使用隔熱材料、隔熱玻璃，看不見的各式配管等等，可說無一不是化工產品。

行 講到行，大家首先會想到的是汽車吧，你可能會認為汽車是



鋼鐵經由機械工業將引擎製作出來的產品，其實把一部汽車解體來看，從輪胎、煞車帶、擋板、座椅、儀表板、把手到手套箱，甚至外殼都改採用輕而強韌之工程塑膠，一部轎車平均使用 80kg 之工程塑膠，如此不僅減少了鋼材使用量、減輕車輛的重量，且可節省汽油之消耗量。此外，雨刷、安全玻璃、安全氣囊也都是化工產品。

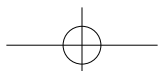
汽車要跑所需之汽油（見 P.15）、潤滑油更是早期就上市的化工產品，雖然最近汽油漲價，但它仍比瓶裝的蒸餾水還便宜，這都是化學工程師有效量產的貢獻！

除了汽車之外，化學工業開發輕又強韌之碳纖維複合材料，它不僅開始取代巨型吊橋所需之鋼索，這些優點也催生了巨無霸航空機的出現，讓這個世界走向地球村，這可說是化學工業界之貢獻。

談到飛機，你可曾想過飛機著地時是要依靠耐重、耐磨且耐高溫之輪胎？同樣的輪胎問題也出現在你開快車時。而化學工業界由石化產品不僅開發了合成橡膠，彌補產量有限之天然橡膠的缺陷，橡膠工業更開發出比天然橡膠更耐磨、耐高溫之合成橡膠，讓巨無霸飛機能安全著地。

健康 患病時從醫院或藥房拿到錠狀或膠囊狀之藥，所謂藥到病除，人們的健康都靠診斷的醫療體系及化學工業所生產的藥來保護。這些藥都是化學家長期辛苦的研究成果，再經化學工程師開發最佳製造程序量產出來的產品（見 P.8），化學家發明之藥能通過不同階段試驗，最後能成功問世的機率卻只有幾萬分之一，而所需時間可能長達十年以上。近年以電腦模擬分子結構之進步，讓化學家得以 **Combinatorial Chemistry** 手法大為縮短開發新藥之時間。

在二十世紀初，化學工程師不僅巧妙地把表面上看來千變萬化的眾多化學品製造程序解析歸類不到三十幾種之單元操作



(Unit Operations)，進而建立獨特之化工學門，與土木、機械、電機並列為四大基礎工程。化學工程師們更進一步把此觀點延伸至人體，開闢了生醫工程之研究，不僅能協助醫師了解各器官裡發生的種種現象，也開發了不少人工臟器，從簡單的人工骨、人工血管，更開發了人工腎臟、人工心臟、人工肺等臟器來拯救需要的病人。

此外，維持清潔所需之洗衣粉、清潔劑、殺蟲劑、消毒劑也都是化工產品。

資訊文化 現代人不可缺之教育、資訊所需之紙、文具、筆墨、碳粉；貯存網路上龐大的資訊，電子期刊所需的記憶體、光碟、顯示器、印表器材；通訊所使用手機、電腦和其周邊器材，可說都是化學工業之直接或間接產品，沒有化學工業提供電子產業所需之超純化學品，矽晶或光電材料等電子產業可能還停滯在真空管時代呢。現在人手一支之手機、筆電、數位相機，如沒有電池，它就無法發揮功能，而光纖將取代金屬線，讓我們的通訊速度更加快速！

休閒 工作累了，想去體育館伸展筋骨，從地板到各種健康器材、球具、休閒鞋、PU 跑道；露營用之帳篷、飛行用之翼材、游泳池之濾水消毒器材，也都是化工產品或其加工產品，另外電視螢幕、液晶顯示器、電影院之底片、放映用之弧光燈也都是化工產品加工所成，因有化學工程師量產，我們才能擁有物美價廉的休閒環境。

圖 1-2 揭示化學工業產品在過去、現在和未來，在各方面達成我們的願望與造就我們舒適生活環境。

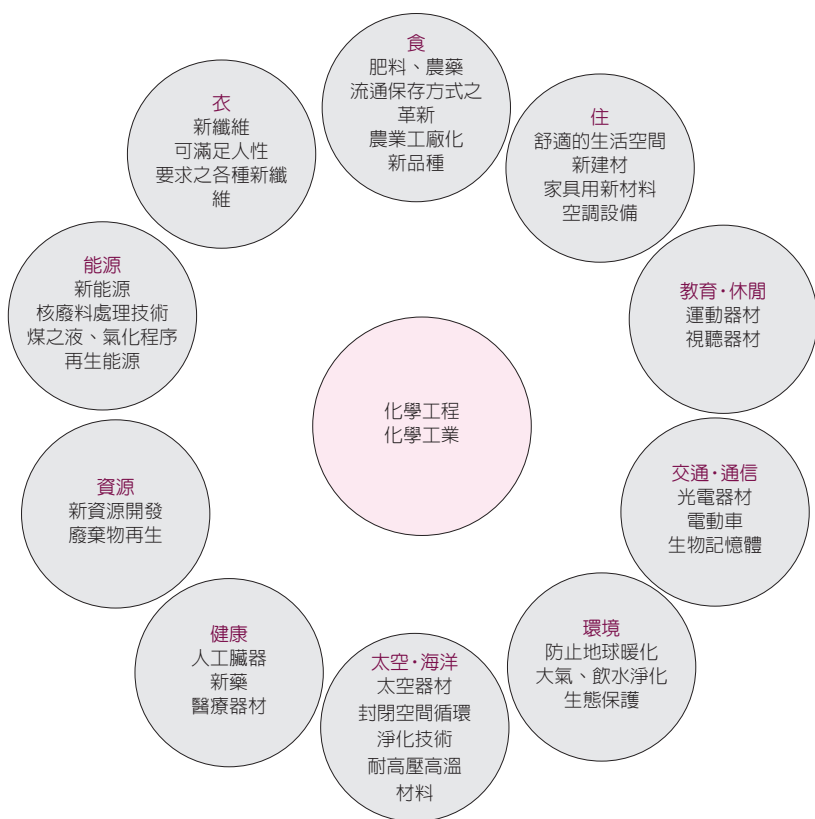


圖 1-2 化學工業與我們的生活



化學工程師之開發貢獻

在上節所指出化學工業產品以不同的形貌或各種方式，讓現在一般民眾能擁有往日只有帝王或巨賈才能享有的舒適豐裕生活，然而這些產品又是從那裡製造生產出來的呢？在這節就讓我們藉幾個影響人類生活較深的化學工業產品之開發為例，來說明化學工程師如何將化學家（或其他科學家）在實驗室新發現或創造出來的成果普及至大眾。

救人無數之青黴素^{1, 2}

抗生素裡的青黴素（亦稱盤尼西林，Penicillin）是眾知之很有效的消炎劑，它是 1928 年被英國倫敦大學生物學者 Fleming（圖 1-3）偶然發現，雖 Raistrick 於 1930 年繼續探討 Fleming 所發現之青黴素的一些特性，但從 Fleming 單離出青黴素至 Florey（圖 1-4）、Chain 和 Heatley 等人確認其藥效，卻等了 11 年之久，此時第二次世界大戰已在歐洲勃發，德國猛炸倫敦，讓 Florey 等無法留在英國研究，只好遠赴美國尋求合作開發，幸得美醫藥研究委員會主席 Richard 博士鼎力支持，於 1942 年成功地完成臨床試驗，確立青黴素之消炎特效。當時因戰爭很多，傷兵急需此藥來治療，美國許多藥廠在政府要求下，紛紛開始試產青黴素，由於當時缺少量產（mass production）醱酵產品的技術及知識，各廠生產青黴素只能沿用生物學家在實驗室之做法，如圖 1-5 所示，排上十萬瓶以上之一公升三角瓶，以人海戰術來生產一萬加侖之醱酵膠去萃取戰場急需之青黴素，這種生產方式不但耗費巨大人力金錢，產量又少，很難滿足傷兵們急迫之需求。1944 年，美國 War Production Board 下令各藥廠須技術上合作，並要求美國化學工程學會從工程技術觀點開發更為合理之大量生產方式（圖 1-6）。以三角瓶培養方式繁殖黴，而黴是

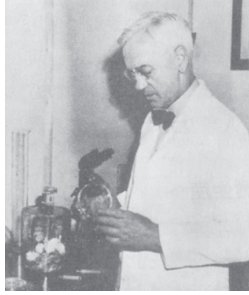


圖 1-3 Fleming 爵士⁽¹⁾



圖 1-4 Florey 教授⁽¹⁾



圖 1-5 以上萬之三角瓶生產青黴素⁽²⁾

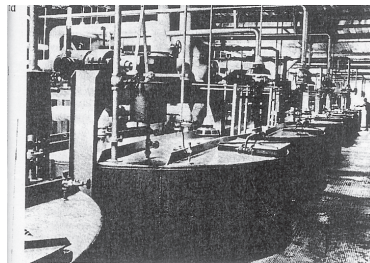


圖 1-6 1944 年時之青黴素發酵工廠⁽²⁾

在三角瓶內液面與空氣充分接觸下進行繁殖，如採用容量較大的深槽浸液培養，就得考慮如何充分供應黴繁殖所需之空氣，只能靠通氣於槽內液相，空氣供量少時，將導致供氧不足之現象，反過來，空氣供量過多時，氣泡可能不分散就成氣柱而逸出液面，無法顧及槽中所有黴所需溶氧，讓培養液中之溶氧量不增而反減，又如液相之混合不均，也可能導致槽內之溶氧濃度不均勻，阻礙了黴之增殖與成長，如以攪拌器攪拌，當攪拌過強時，反而加速已生成之黴的分解。化學工程人員首先探討的是，如何平衡青黴素繁殖時和代謝 Penicillin 時黴菌耗溶氧速率？選擇那一機型之攪拌翼來分散空氣？又如何掌握攪拌槽溶解速率？要槽中發酵液能均勻混合且充分分散空氣時，攪拌翼之最佳轉速為多少？如何設計槽內構造，始能避免殺菌培養液時的死角，及如何移走醱

酵熱來維持黴繁殖之最適溫度等等。此外，化工人員也探討如何製備發酵所需之大量無菌空氣，及殺除原料培養液中之雜菌，及如何大量從發酵醪中萃取 Penicillin，並在低溫乾燥 Penicillin，避免 Penicillin 被雜菌污染等，整合每一操作始設計出如圖 1-7 所示之程序流程來從事大規模生產。如前圖 1-6 揭示 1944 年 Pfizer 公司初步試量產青黴素之發酵槽（Fermenter），經過多年改良，發酵槽單基之容量已逾 300 m^3 ，其生產成本也大為降低。

表 1-1 列示從 Florey 等人開始試製藥用盤尼西林至 1965 年來發酵產量及生產單價之變遷，經二十年產量提升 110,000 倍，但生產單價則減到起初試製時的千分之一，每個月受惠患者也增加至 1950 年的兩千萬人。此例顯示生物學者發現之 Penicillin 雖有很好之治療效能，但若不是化學工程師的參與，解決規模放大時之各種問題，設計生產程序，迄今 Penicillin 可能仍是貴族或富

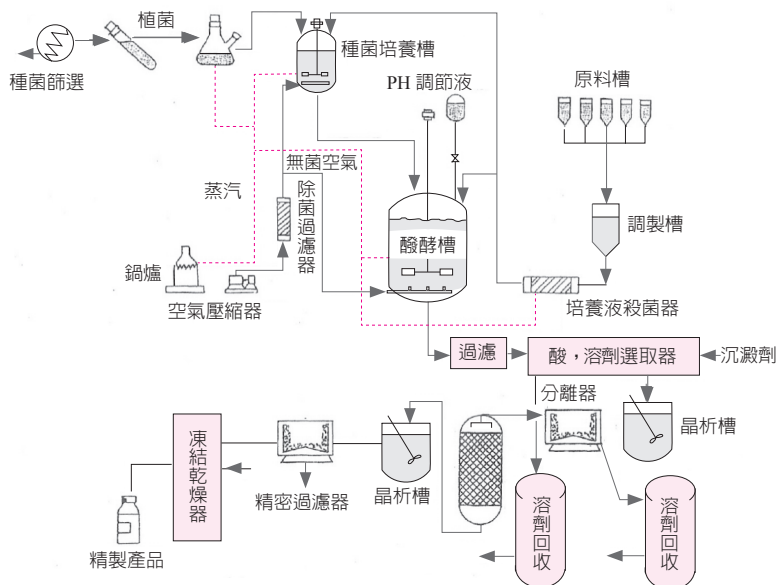


圖 1-7 Penicillin 製造流程