

瓦特——其人其事

蘇賢錫

國立臺灣師範大學物理系

一、紐可門蒸汽機

1763 年年底，在英國蘇格蘭地方中部的城市格拉斯哥（Glasgow）經營科學器具製造業的瓦特（James Watt, 1736 ~ 1819）受託修理裝在格拉斯哥大學物理學系的紐可門蒸汽機（Newcomen engine）的模型。它是與實際蒸汽機一樣可以運作的小模型，用於物理學的教學。紐可門蒸汽機是 1712 年英國發明家紐可門（Thomas Newcomen, 1663 ~ 1729）所發明，是利用蒸汽的力量來抽水的蒸汽泵。

當時的英國因與廣大殖民地貿易而工商業十分發達，銅鐵等金屬及熔解這些金屬所需的煤之生產不斷急遽增加。因此，地表附近已被挖掘殆盡，坑道都已挖深，而地下水隨之湧出。爲了除水，從前是使用以馬匹爲動力的泵，但工作遲遲不見進展，成爲深刻的問題。

以機械力來取代人力馬力的就是紐可門蒸汽機。這蒸汽機的效率頗高，20 個人與 50 匹馬晝夜不停工作要花一星期的排水工程，2 個人與 1 部紐可門蒸汽機能在 48 小時內完成。這蒸汽機的引進使坑道內排水工作簡化，所以各地的礦山開始積極開採了。此外，都市給水系統也利用這蒸汽機。

1760 年左右，瓦特用過紐可門蒸汽機的原始機種巴泮蒸汽機來做高壓蒸汽實驗，所以他對蒸汽有或多或少的知識。

巴泮蒸汽機是 17 世紀末葉法國物理學家巴泮（Denis Papin, 1647 ~ 1714）設計的，由活塞與大汽缸而成，活塞上部曝露在大氣中。汽缸底部裝水，加熱後蒸汽的力量可將活塞推上去。其次，用冷水來冷卻汽缸，內部蒸汽就凝結成水，活塞被大氣壓力壓下來。巴泮本來想利用這活塞的往復運動當動力，但汽缸的加熱與冷卻費時太多，終告失敗。

紐可門放棄在汽缸內產生蒸汽的方法，將鍋爐產生的蒸汽導入汽缸，然後對汽缸內作冷水的瞬時性噴入，使蒸汽急速凝結。結果活塞能夠上下反覆運動，首次能當泵的動

力來使用。這樣，巴泮蒸汽機與紐可門蒸汽機都是利用大氣壓來把活塞壓下來，所以這些蒸汽機叫做大氣壓蒸汽機。

瓦特把紐可門蒸汽機的模型修理好，將鍋爐裝滿以水，產生蒸汽看看。但無論如何，活塞往復數次就停下來了。紐可門蒸汽機為什麼要消耗這麼多的蒸汽，他想查明究竟。

二、專心學習製造技術

1736年，瓦特生於格拉斯哥西方37公里處的港口格陵諾克（Greenock）。父親是造船工人，而且經營各種海運事業。小時候的瓦特身體虛弱，喜歡在父親的工作場所製造各種模型。相傳他5歲時看到爐上的水壺蓋喀喀喀跳動而對蒸汽的作用發生興趣。不久，他就幫忙父親的工作，但瓦特17歲時，父親的事業陷入經濟困境，無法使他繼承家業。於是他決定就業，下定決心要成為科學器具製造業者。

當時要成為工人，必須加入同業公會（guild）當好幾年學徒。這時瓦特已經是19歲的青年，要當學徒，年紀太大了。於是他請格拉斯哥大學物理學教授狄克（Robert Dick）介紹倫敦的科學器具製造業者，獲准工作1年。他每天拼命工作10小時以上，通常需要3～4年的製造技術，他僅僅1年就學到了。

回來格陵諾克的瓦特，他想在格拉斯哥開業，但因他沒有加入當地的同業公會，所以不容易找到工作。這時，早已發現他的才華的狄克教授，設法讓他在大學校園內開店了。瓦特的工作是大學的科學器具之保養與修理。他的工作室經常有教授與學生進進出出，好像是他們的聚會處。

當時的格拉斯哥大學有包括氣化熱的發現者布拉克（Joseph Black, 1728～99）在內的許多優秀學者，整個學校充滿著生氣。瓦特能從他們吸取新知識。當時是該校學生而後來成為愛丁堡（Edinburgh）大學物理學教授的羅賓生（John Robinson）對瓦特灌輸新思想，即蒸汽可以當動力使用。

三、備有冷凝器的蒸汽機

為了查明紐可門蒸汽機過度消耗蒸汽的理由，瓦特決定先研究蒸汽的性質。結果他發現，水變成蒸汽時其體積增加1,800倍；使某體積的水蒸發所需的熱量，能將該水6倍重的冷水從室溫加熱到沸點等等。這第2件事實使他感到迷惑了。他把這結果告訴布拉克教授，結果布拉克教授說：「我也查明了同一個事實」，而用他所發現的汽化熱來說明。換言之，水從液體變成氣體時要吸收大量的熱（氣化熱），而從氣體變回液體時

要放出同量的熱。

由這種實驗知，就紐可門蒸汽機而言，在1往復中，送入汽缸的蒸汽，其 $\frac{3}{4}$ 左右凝結成水。這是注入蒸汽加溫到沸點的汽缸，把它冷卻使蒸汽凝結的緣故。被冷卻的汽缸，必須再度把它加溫到沸點。這樣一來，要白花龐大的熱量。

瓦特仔細想，一面永遠保持汽缸在高溫狀態，一面使蒸汽凝結，有沒有這種方法呢？他從各方面來考慮這問題，反覆再三做實驗，卻不容易找出解決的方法。然而，在兩年後的1765年某星期日正在散步時，他終於想到很好的辦法。

「因為蒸汽是彈性體，只要把真空容器與汽缸連接起來，蒸汽就會衝入這容器中吧。冷卻這容器來使蒸汽凝結，就不必冷卻汽缸了。」

換言之，瓦特發現的方法是，使蒸汽凝結成水的機能與汽缸彼此分開，而使用冷凝器（condenser）。第二天早晨，他立刻開始做這模型。這是簡陋的模型，盒狀冷凝器是由馬口鐵焊接而成，汽缸是利用注油器的，但蒸汽確實衝入冷凝器，使他欣喜萬分。

這模型的汽缸上端封閉，周圍用圓筒形套蓋上。從鍋爐注入的蒸汽通過套內，從汽缸上部噴入缸中把活塞壓下。其次，用泵把冷凝器的空氣排出，蒸汽就衝入冷凝器中被凝結，而活塞隨之上升。這樣，把活塞壓下去的不是大氣壓力而是蒸汽壓力，於是真正的蒸汽機誕生了。

四、來自各方面的援助

其次，瓦特想製造真正能工作的實際大蒸汽機，但他從來沒有製造過大機器，不知困難重重。當時又沒有工人能做截面真正圓形的大汽缸與能密接這汽缸的活塞。瓦特只好用鐵錘敲打來完成活塞。

最困難的問題是要塞住活塞與汽缸之間的空隙。活塞必須順利運動，而且蒸汽不得外洩。他想盡辦法嘗試之後始知紙板、軟木、麻屑、馬糞等混合作成的填料才是有用的。

在這種惡戰苦鬥中，實驗規模愈來愈大，他陷入經濟困難。本來他都是向布拉克教授貸款，但是經年累月，現已債台高築。於是布拉克教授為瓦特介紹在格拉斯哥西方的卡隆（Carron）地方經營鐵工廠的羅巴克（John Roebuck, 1718～94）教授。羅巴克教授擁有煤井為自己的工廠提供煤，他知道瓦特的蒸汽機對坑道內的排水有用而欣然答應援助。於是在羅巴克教授的工廠製造蒸汽機的零件，但這些產品太粗劣，所造成的蒸汽機不能順利運轉。

瓦特因諸如此類的心勞而屢次傷透腦筋。同時，為了謀生不得不賺錢，於是他當運

河的測量技師工作數年，利用公餘時間來改良蒸汽機。

然而到了1722年，產業界陷入嚴重的不景氣，羅巴克教授宣告破產，瓦特的處境相當困難。俗話說得好，禍不單行，第二年瓦特的太太留下兩個幼兒與世長辭了。向意氣消沉的瓦特伸出援救之手的是在伯明罕（Birmingham）擁有大機械工廠的波頓（Matthew Boulton, 1728～1809）。波頓請瓦特去伯明罕，給予全面援助。由於波頓的活動，瓦特獲得冷凝器的專利，從1775年到1800年，長達25年，而他的發明完全受到法律的保護。這樣，他好容易才開始專心從事研究工作了。

五、蒸汽機的改良

波頓的工廠齊備熟練工與精緻工具。而且使瓦特喜出望外的是，他移居伯明罕的第2年，威爾京生（John Wilkinson, 1728～1808）發明了鏜床（boring machine）來精密鏜開大砲的砲管。威爾京生是波頓的朋友。利用鏜床就能製造截面為真正圓形的鐵製汽缸，多年來不能解決的蒸汽洩漏的問題，從此消失了。這樣製造的首部蒸汽機順利運轉，終於可能邁入實用階段。

1775年，波頓·瓦特公司創立，開始製造兩部蒸汽機。這是汽缸直徑127公分的煤井抽水用蒸汽機與汽缸直徑96.5公分的鼓風用蒸汽機。後者是威爾京生的鐵工廠的鑄鑪要用的。

這些大型蒸汽機的製造成功，工業界一齊鼓掌喝采，而蒸汽機的訂單接連不斷地來了。尤其是英國南部康格耳（Cornwall）地方的諸礦山煤井不多，燃料煤的成本頗高，故以紐可門蒸汽機的 $\frac{1}{4}$ 燃料即可完成相同工作的瓦特蒸汽機被引進很多部。

瓦特不因初期蒸汽機而感到滿意。活塞的上下往復運動如果能夠改為迴旋運動，就可以轉動工場的機械與交通工具的車輪。這種想法，好幾年前就在他的腦海盤旋。於是他把活塞棒與連結棒垂直連起來，在連結棒端裝上臂能自由自在運動的軸。這就是今天的曲柄（crank）。他在曲柄軸上裝了飛輪（fly wheel），使其轉動得以圓滑。

這樣，實施迴旋運動的蒸汽機可以着手製造，但新蒸汽機的溢價金要怎樣計算，這就成問題了。瓦特決定以相當於多少匹馬來衡量蒸汽機的功率。截至當時，工廠的動力多半是使用馬匹，所以他根據這些資料而得到下列數值：「3萬3,000磅的東西，1匹馬1分鐘可以舉高1吋」，換言之，他給功率的單位「馬力」下了定義。功率的單位「瓦特」是因他的名字而定的，1馬力等於746瓦特。附帶說明，1788年完成的製粉用迴旋式蒸汽機是50馬力。

瓦特又裝上離心調速器 (centrifugal governor)，使蒸汽機的運動得以自動控制。這是與活塞聯動的垂直軸上吊下兩個重物的裝置。軸的運動增加到一定速度以上時，因離心力的作用而重物升高到水平位置。結果因槓桿的作用而蒸汽管的活門關閉少許，蒸汽量隨之減少，活塞的速度就降低。這可以說是今天的控制論 (cybernetics) 的先驅。

六、蒸汽機與工業革命

瓦特的專利期限到期的 1800 年以前，波頓·瓦特公司一共製造蒸汽機 500 部以上。其中將近 40 % 是當抽水機使用，而其餘是當紡織廠、鋸鑛爐、製粉廠等的迴旋運動動力。波頓與瓦特晚年時，因蒸汽機的引進而工業生產急遽增加，而英國的工業革命邁入最盛期。尤其是阿克萊特 (Sir Richard Arkwright, 1732 ~ 92) 的水力紡織機與克倫頓 (Samuel Crompton, 1753 ~ 1827) 的紡棉機 (Mule)，都是優秀的機械。於是英國終於爬上了「棉織品王國」的地位。

同時，大量原料與產品的輸送，也迫切需要交通工具，而滿足這需求的也是蒸汽機。1804 年，英國技師及發明家特磊維替克 (Richard Trevithick, 1771 ~ 1833) 製造蒸汽火車頭在鐵軌上行駛。另外，1807 年美國技師及發明家福吞 (Robert Fulton, 1765 ~ 1815) 製造蒸汽輪船「克勤蒙號 (Clermont)」，裝載 60 ~ 90 乘客在紐約與奧爾巴尼 (Albany) 間航行，為運輸工具帶來了一次革命。

瓦特 64 歲時退休住在伯明罕郊外希斯費 (Heathfield)，但其屋頂小屋成為他晚年的工作室，製造雕刻品的複製機。他當選英國皇家學會會員，又獲贈格拉斯哥大學榮譽法學博士學位，1819 年靜靜結束其 83 年的生涯。

6 年後的 1825 年，英國斯托克頓 (Stockton) 與達令敦 (Darlington) 間首次鋪設鐵路。這時使用的蒸汽火車頭是英國工程師斯蒂芬生 (George Stephenson, 1781 ~ 1848) 製造的 Locomotion 1 號，運載大約 90 噸生煤與小麥粉以及 500 位乘客，以平均時速 12.8 公里行駛。

參考資料

1. 平田寬編著 定理、法則をのこした人びと 岩波書店 (1986)
2. 竹內均主編 科學の先驅者たち 教育社 (1988)
3. 久保田芳夫 〔物理〕學ぶことと教えること 高校出版 (1989)
4. A. Sutcliffe and A.P.D. Sutcliffe, "Stories from Science" vol. 2. Cambridge Univ Press. (1962)