

工 程 概 論

An Introduction To
Engineering
Methods, Concepts, and Issues

原著者：Edward V. Krick

譯述者：張 伯 烈

科技圖書股份有限公司

工 程 概 論

An Introduction To
Engineering
Methods, Concepts, and Issues

原著者：Edward V. Krick

譯述者：張 伯 烈

科技圖書股份有限公司

本公司經新闢為技術書籍
登記證局版台業字第112號

書名：工程算術
原著者：Edward V. Krick
譯述者：張伯良
發行人：趙國華
發行所：科技圖書股份有限公司
台北市博愛路135號二樓
電話：3110953
郵政劃撥帳號：15697

六十九年十二月初版 特價新台幣100元

工程導論

An Introduction to Engineering: Methods, Concepts, and Issues

原著者： Edward V. Krick 柯立克氏

Lafayette College
Easton, Pennsylvania

譯述者： 張伯烈

原 序

致 教 師

使用本書時，我力主教師將“致學生”一文分給學生研讀，使學生能瞭解書中所述的目的。學生應對作者的意見有充分的理解。其中之一是將工程學的涵義介紹給在考慮或開始接受工程教育的人們。達成這個目的的方法有五：

- (1) 提出如何進行工程活動的個案研究 (case studies)。
- (2) 描述當代工程的起源 (origin) 與其本質 (nature)。
- (3) 概述工程師的重要特質 (attributes)。
- (4) 描述設計的程序。設計程序係一種連續不斷的活動，從認識問題開始，最後達到一個功能上、經濟上與其它方面都滿意的解答為止。該程序包括問題的詮釋、分析、綜合、發明、動作的預示、決策的制訂，最適的選擇，細節的說明，及其它許多工程方法的技巧與熟練。如果是描述設計程序，就逕行描述該工程的精華部份。
- (5) 要學生參於設計工作。

本書可達成其中四個目的，其餘課程可達成第五個目的。

另一目的是要學生增加對工程教育在技巧、知識與發展態度等各方面的了解。對大學低年級學生，將頭兩年的工程課程作為一種誘導性的磨鍊，使他們對於正在研讀的工程學終極目的有具體的認識，是不太容易的。若大一學生能有合理的課程，則不必如此做，亦不會如此做。

有些教育家主張低年級的工程學生，甚至高年級學生，其程度尚不足以了解工程與社會兩者間這些複雜的關係與爭論。但我個人以為，即使是初出茅蘆的工程師，現在也相當關心這類事。若不將我們關

心的事早日指點出，也是一個錯誤。還有一層，學工程的學生在埋首分析問題和吸收實際知識的課程之餘，會發現專心“爭論有專題討論特色的”（issue-flavored）論題，是一種令人耳目一新的改變。

對現代工程師的任務與影響，我已盡力提出公正無私的特性描述。但此項特性描述並未因我的努力而毫無偏袒。以一個像我好愛工程的人來說，完全的客觀或許是太過分而無法指望做到。在熱愛職業的無害誇示與有害的曲解中間，有一條微妙而嚴格的區別線。我深信自己尚未超越那條線。

十幾年來，我一直在教授工程學的入門課程，對從事這階段的工程教育，我未嘗有一日感到懊悔。事實上，我覺得大一的新生朝氣蓬勃。他們富於想像力（我認為恐怕比高年級更甚）、吸收力、與領悟力，與他們一起工作，往往充滿喜悅。祝您也會有同樣的報酬。

愛德華、V、柯立克

（Edward V. Krick）

致 學 生

我寫本書的目的在於：

- (1) “對各位的通盤教育貢獻一個不可或缺的導論”。今天我們的生活有許多事都受到技術學（technology）的支配與協助。如教育對這股力量的各種起源、作用與廣泛的影響不予注意，就不能算是完整的教育。雖然我的目的多半均與工程學有關，但這個目的却凌駕於專業研究之上。它關係着各位對這個技術發展極其複雜的世界所作的通盤準備工作。就本書第十二章的主題，回饋系統（feedback system）來看，在一個時期，只有受過技術教育的人，才夠資格了解這種系統。可是到現在，已是普通知識了。回饋現象（feedback phenomena）已成為社會、經濟、政治及技術系統中相當普遍的現象。
- (2) “幫助各位決定究竟工程學是不是適合自己的理想事業”。為達此目的，我對工程學作了一番相當清晰的描述——什麼是工程學，它所需要的條件、它的貢獻、以及它的缺點。然而，這實在是一項挑戰，因為有許多錯誤的概念必須克服。例如（特別是由於新聞媒介的報導），多數人似乎都搞不清科學家與工程師的任務有何異同。也有許多人祇能把工程師想像成“頭戴硬帽手操測量儀”的人。不錯，現在有些工程師是頭戴硬帽，偶而也瞄一瞄測量儀，但這實在不能算是真正具有代表性的塑像。這些錯誤概念是免不了的，因為社會上的人都可看到教師與醫生在做些什麼工作，但卻很少能看到工程師做些什麼。回頭，如果各位打算對自己一生的事業做個明智的決定，就必須對時下流行的錯誤概念有所警覺。因為提醒各位注意這些事，乃是我的責任。
- (3) “引導各位開始發展心智技巧，這對各位在工程專業的成功相當重要”。本書許多篇幅都花在探討如何設計、擇適（optimization）與造型技巧（modeling skills）上。在工程實務

所用的許多技巧中，我特別強調這三項。這三項是最精髓的部分，而且只要把這三者融會貫通，便能對工程學有廣泛的了解。

- (4) “使各位熟悉基本的技術專門名詞”。如果各位想讀懂工程文獻並與資深工程專家交談，就須熟悉工程學上的專用字彙。
- (5) “培養專業的態度，特別着重於加強各位感受工程師創新在專業上所帶來的各種影響”。這件事不但重要而且複雜。由於以培養態度為主，而這又非一蹴可幾之事，故而培養的過程應提早在各位接受工程教育之初就開始。因此，本書的討論重點，乃是研究工程學對人類周圍事物與環境的衝擊，及其在專業上的各種複雜發展。
- (6) “提高各位對工程教育目標及其課程目標的瞭解”。工程教育家都很清楚他們要培植學生發展那些特質，那又為什麼不該讓各位學生也知道那些特性究竟是什麼呢？更何況，認清這些目的後，能使各位接受教育的過程中成為更積極的參與者，進而有更豐碩的收穫。

我希望本書能為各位達成上述目標。

愛德華、V. 柯立克

(Edward V. Krick)

目 錄

致教師

致學生

第一篇 概論 1- 60

第一章 工程師做些什麼 - 個案研究.....	3
第二章 工程師的成功條件.....	28
第三章 工程學的貢獻.....	38

第二篇 各種技巧 61- 206

第四章 設計：界定問題.....	63
第五章 設計：深入探索.....	82
第六章 設計：決定階段.....	99
第七章 設計：施工細則及其它.....	118
第八章 從理論到實踐.....	132
第九章 各種模式.....	140
第十章 造型.....	172
第十一章 擇適.....	188

第三篇 工程師所使用的知識 207- 260

第十二章 控制系統.....	209
第十三章 數位電算機.....	223
第十四章 基本知識與概念.....	247

第四篇 工程學與社會兩者間的相互影響 261- 312

第十五章 工程學的衝擊·····	263
第十六章 科技與政府·····	273
第十七章 如何選擇·····	285
第十八章 科技的評鑑·····	293
第十九章 各種限制·····	301

第五篇 各種態度、偏見、與補救之道 313- 338

第二十章 是福？是禍？·····	315
第二十一章 教育的任務·····	327

附錄 參考書目

第一篇

概 論

透過印刷版面的媒介，您正親眼目睹工程師如何進行工作。這種展示，給您一個概括的印象，讓人知道工程師究竟做些什麼，會遭遇到那些問題，挑戰與困難，及工程師必須具備的諸般素質，以達成任務。

2 工程概論

第一章 工程師做些甚麼一個案研究

1.1 概 說

一位電算機公司 (Computer Electronics Company, C. E. C.) 的工程師構想出一套資訊處理系統 (information-processing system) 對醫生和病人都很有價值。這套系統，稱為助診器 (diagnosticator)，目的是協助醫生診斷病況。醫生檢查完病人後，把所得病情輸入助診器，該器就會處理此項資訊，並送回一張病名一覽表，每個病症皆附有屬於病人的病名或然率 (probability) 數。例如根據某位病人的特有症狀與可靠資訊，該器可指出這位病人得有該 A 號病症的概率為百分之六十三，得 B 號病症的概率為百分之十八等等。

雖然，C. E. C. 的管理部份深知助診器的潛在用途，但除非該部門確信銷售此助診器能產生大量的利潤及其它收益能值回用於發展、製造及市場推銷的總成本，即不會投下巨額資金於此種冒險之途。管理部門根據此一構想的發展前途，任命工程師提供生產該項設備的初步規範，並對推銷該器所需的總成本作一預算。依造此“初步估計”，如果這項規畫最後可產生可觀的報酬，就授權工程師繼續細部設計與助診器的操作試驗。

其中，管理部門已決定該儀器必須在一分鐘內輸出所需的診斷資料，不可笨重累贅，並能用普通家庭電流操作。初步施行細則與成本預算必須在兩個月內完成。

講評 (commentary)：工程師必須想出一最有效的方法，將檢查病人所得的資料轉換成一套罹病或然率數。此種儀器，必須符合某些特定的規格 (restrictions) (即在一分鐘內得到結果)，同時更優於某些特定的準則 (criteria)，如製造成本，吸引潛在買主的

4 工程概論

注意等。此項計畫限於兩個月內完成。簡言之，以上就是工程師所面臨的問題。

在進行計畫時，工程師要運用他的知識與發明能力，設計出種種可行的解決辦法。其中之一是在使用者的辦公室內裝設許多打字機型的電子設備（圖 1.1）。醫務人員可利用這些儀器將病情資訊輸送到專門為大家服務的中央資訊處理系統（centrally located information-processing unit），然後再從此一系統收到計算的結果。另一項選擇的計畫是，為每位使用者提供一個獨立的系統。這些選用計畫中，顯然各有其不同的優點，但這些差別在金錢上所代表的意義，却並不顯而易見。

工程師還要動手研究各種方法，以便將病人資料有效的輸入機器並從中得到結果。研究處理資料的各種可行方法，與不同類型的構造組合。可供採行的方案說來甚多，但並非都同樣合乎要求。工程師必須衡量所有可供選擇的計畫，然後從中選出一個“最好的”系統。

在整個計畫進行期間，工程師要和形形色色的人一塊研究，如數學家（關於或然率理論）、市場專家、製造技師、與醫事人員等。還要花很多時間來觀

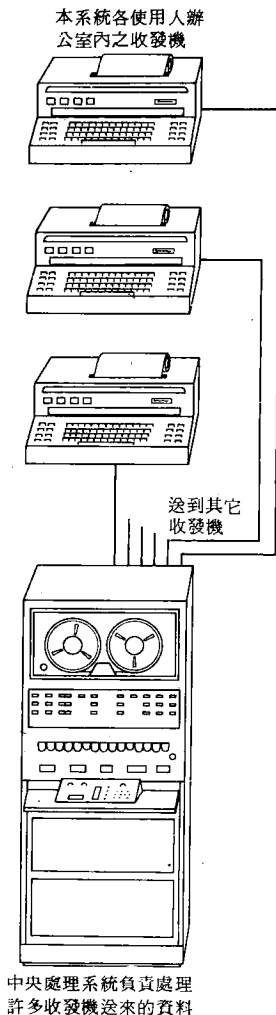


圖 1.1 工程師繪製出他呈送主管報告內所包含的主要方案草圖，這是中央系統式助診器草圖，使用於終端辦公室

察醫生的工作，並請教他們有些什麼需要、喜好、以及對種種構想的反應。他接觸的人要比初次參於工程計畫所預料的人數更多。

研究告一段落後，工程師便以口頭簡報與書面報告向主管表達其意見。報告中應包括他建議的資訊處理系統草圖（圖 1.1），說明其操作和性能、成本預算、及管理部門作明快決策所需考慮的各種經濟因素。計畫的前途，端視管理部門對該項報告是否能接納而定。

1.2 自動生產機

一個大型電話系統中，包含有上百萬個開關，所有開關均依工程原理設計，使用已有多年，就是用上幾十億次都不會損壞。但這些開關仍會因潮濕或外界的因素而起損壞。多少年來，這些損壞的絕緣與修補費用，加上預防維護費，一直使該公司耿耿於懷。於是指定一工程師改進該項系統的可靠性（reliability），以降低這些費用。

在研究期間，他發展並評估了許多可能性。後來，他仔細地揀選了如圖

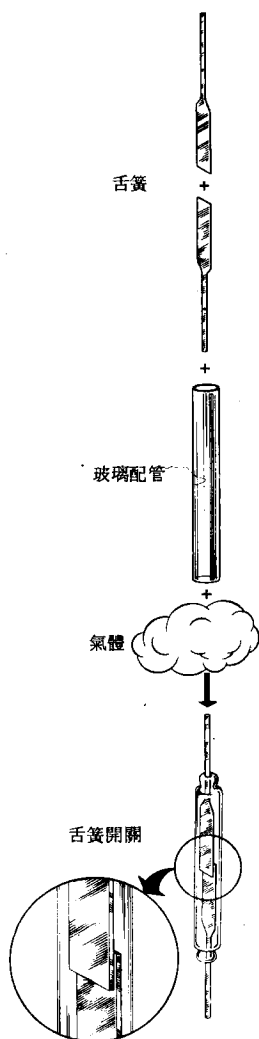


圖 1.2 這個開關的內部結構是將兩片舌簧和惰性氣體一起封入玻璃配管內，放大圖顯示出舌簧排列與間距的接觸點極為精密。此項裝配係裝在電磁綫圈內，只要加以電勢，就可使舌簧接觸而接通電路

6 工程概論

1.2所示的精巧開關，作為最有希望的解決辦法。這個設計是驚人的快速、非常可靠，不需維護、並且勝過任何以前所有的開關。但有一個很重要的問題，它決定這種新奇的開關對於公司與顧客是否有價值，即，這種開關能成百萬的大量製造嗎？

為解決這個問題，公司指定了一個工程師小組，以研究出一套合乎經濟的製造開關方法。如圖 1.3 所示的巧妙機構。

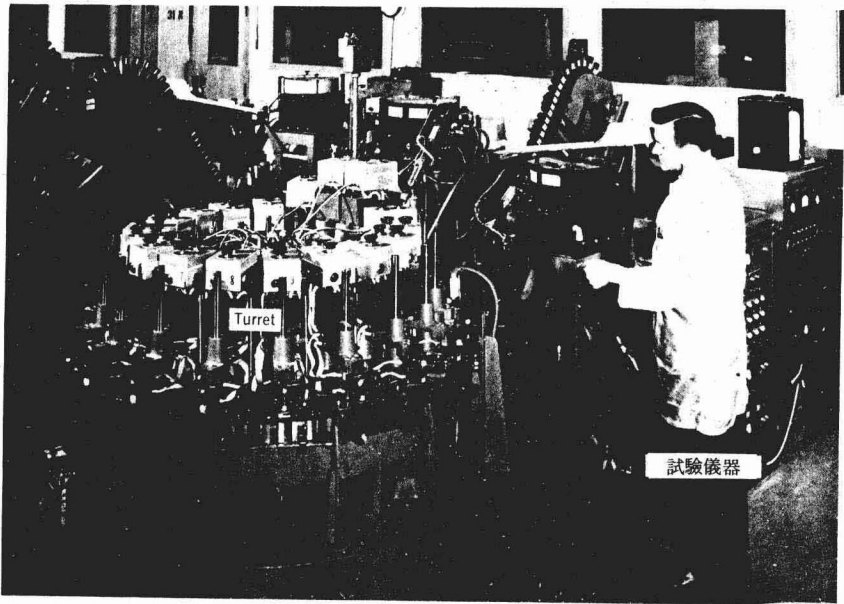


圖 1.3 一架每年製造一百萬個舌簧開關的自動生產機。該機係依照旋轉木馬的原理而操作，旋轉塔有 18 個完全相同的裝配頭。旋轉時，舌簧開關乃逐漸形成，在旋轉塔圓周上的連續站點，放置着配管，插進並排列好舌簧，固定間隔，注入氣體，封牢配管而排出完成的開關，然後開關到達機器的測試部分，量度其物理與電的特性。不合的開關根據這些量度，再加以排除，機器自行調整，改正任何招致缺點的部分

講評：工程師小組的主題是找出最經濟的方法，將玻璃配管（ tubing ）、舌簧（ reeds ）、與氣體裝配成數以百萬計的合格開關。該小組不久便明白，用人工製造數以百萬個開關成本會貴得令人不敢問津。這個精巧開關的命運，就看工程師小組是否能發展出一個合乎經濟原則的機構，或操作人員與機器的組合來製造它。當然，如何將這些舌簧放入玻璃配管並排列成所需的精密公差，本身就是一個考驗。

在整個計畫進行期間，其經濟可行性亦需作徹底調查，小組每隔一段時間便予暫停，以重估是否能發展出省錢的辦法，其或然率如何。在進行計畫的任何時候，如果顯示出所有製造法都太昂貴，開關的原始設計人，就要另尋解決辦法，亦即造成本較低的開關。

開關的設計者，只負責專門發展用在電話系統的裝置。隨後再由受命進行該計畫的工程師來發展製造這些裝置的方法。通常稱他們為程序或製造工程師（ process or manufacturing engineers ）。設計小組的成員，都是能在各方面互相配合的專家。在本個案中，有一位工程師專精玻璃的性能（ behavior ）與成形（ forming ）方面，另一位是精於機器組件（ machine components ）與機構（ mechanisms ）方面，還有一位精於電磁現象以及其它各方面的專才等等。由於每位專家只負責整個計畫的一小部分，故小組的成員彼此應有密切的工作關係，並由小組中的一位成員〔此處稱個案工程師（ project engineer ）〕擔任協調人，統籌小組的各項活動，方能使最後定案的系統在各方面都配合得當。

當小組自信已設計出最經濟的方法時，就要對此法的細節詳加說明。這樣技師與技工才能製造出一個原型（ prototype ）。工程師們負責監督製造。在製造期間，還會對原先的設計作若干修正。等原型完工時，便督導進行試車，結果，又需作一番修正。經過多方的測試與改良，建議中的自動生產機模型終於就緒。於是繪圖人員將原型的詳細規格繪製妥當，以便增造同式的原型。不久以後，新改進的開關將以年產數百萬的製造率，供應一般用途。

工作到此，仍然不能算圓滿完成，程序工程師尚需追蹤觀察原型的使用情況，對原型的設計再予推敲作適當的改革，然後作一評鑑，