

# 科學之路

## The Art of Scientific Investigation

W.I.B. Beveridge

*Professor of Animal Pathology and Director of  
the Institute of Animal Pathology, University of Cambridge*

“Scientific research is not itself a science;  
It is still an art or craft.” – W.H. George

楊新北 中譯

長堤出版社 1984 年 2 月

## 網路版緣起

至今還記得收到包裹，打開牛皮紙，出現兩大疊『科學之路』的情景。

在一九八五年看到『科學之路』中文版之時，正是我博士班快要畢業的關頭，好像是在公館那家金石堂買的。快快讀過之後，馬上向出版社訂購了三十本，分送一些大學部或研究所的學生，巴不得全台灣的學生都能讀到。

爲什麼這本書如此重要、如此令人印象深刻？

因爲書中淋漓盡致地說明了，什麼是科學精神、什麼是科學家的風格、爲何生活中處處是科學。真深深體會到，英國人在科學本質上的高度認知與修養，實在有其文化上的傳承，堪爲借鏡。

將近二十年後，網路已經把地球連結成一個大電腦，然而科學的基本精神卻仍然完全沒有改變，重讀『科學之路』後更確定此一事實。想要重蹈二十年前的覆轍，購買數十本書來廣種福田，卻買不到這本書，也找不到出版社。

曾經向『天下』建議重新出版，等了幾個月的專家審查，得到諸如『該書內容屬研究人員層次，非一般大眾有興趣』之回應。就這樣一直擱著，也一直忙著，差點忘了有這本書。

但還是在導生會中不斷向學生們灌輸『科學之路』的精神，並且希望能夠經由網路來廣爲散佈。有一位學生自告奮勇幫忙掃描頁面，花了暑假幾週時間轉成文字檔，再來就是要搬到網頁上去，這要我自己來做。

我並無原翻譯者楊新北先生的授權，因爲真的花了很多努力都找不到原出版社，但迫於『爲時已晚』就冒昧地先把文字搬到網頁上去，若有任何方式能夠聯繫到，我願意付出所有轉載費用。但我自己的空暇時間有限，因此只能一章一章轉換，慢慢地把整本『科學之路』放到網路；一年多之後，進一步轉成 Acrobat 的 pdf 檔案格式，希望能夠有更多人受到科學精神的薰陶。

最後向原作者 Beveridge 及中譯者楊新北兩位先生致以最大敬意。Beveridge 先生當然讓我撐開了眼界，真正認識西方的科學精神；楊先生的中譯流暢嚴謹，充滿五四運動時代，中國文化剛受西方科學啓蒙的那種風格，平鋪、直述、儉約、明瞭，毫無做作。

這不正是科學精神？

台灣大學生化科技學系 莊榮輝  
2005 年 4 月 26 日 修改

# 科學之路

The Art of Scientific Investigation

## 目 錄

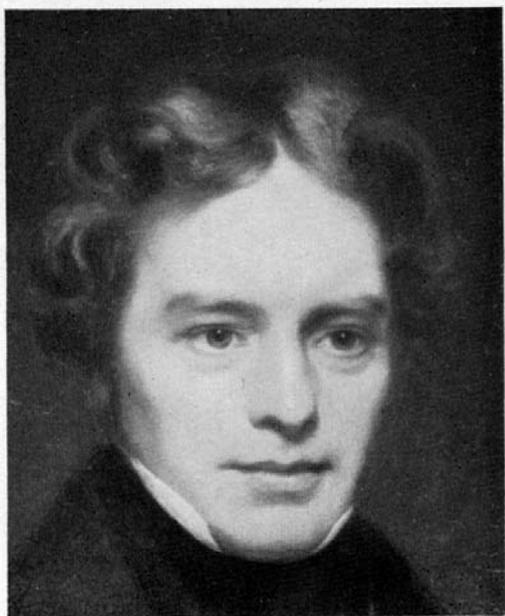
譯 序 · 原 序 · 第二版序 · 第三版序	
引 言 · 科學家與偵探 (Irving Copi)	
1 準備工作	學習 · 著手研究問題 · 提要
2 實 驗	生物學實驗 · 實驗的部署與估價 · 給人錯誤印象的實驗 · 提要
3 機 遇	實例 · 機遇在新發現中的作用 · 認出機遇的機會 · 利用機會 · 提要
4 假 設	實例 · 假設在研究中的運用 · 運用假設須知 · 提要
5 想像力	豐富想像 · 虛假線索 · 好奇心 · 討論激勵思想 · 限制的思考 · 提要
6 直 覺	定義與實例 · 直覺的心理學 · 捕獲直覺的方法 · 科學鑒賞力 · 提要
7 推 理	推理的限度與危險 · 運用推理注意事項 · 推理在研究的作用 · 提要
8 觀 察	實例 · 觀察的原則 · 科學的觀察 · 提要
9 困 難	對新想法的抗拒心理 · 與新發現的對立 · 解釋的謬誤 · 提要
10 戰略與戰術	計劃和組織 · 不同類型的研究 · 科學研究中的移植法 · 戰術 · 提要
11 科學家	性格 · 鼓勵和報酬 · 科學道德觀 · 科學頭腦 · 科學家生活 · 提要
附 錄	機遇在新發現中發揮作用的實例 (共 19 例)



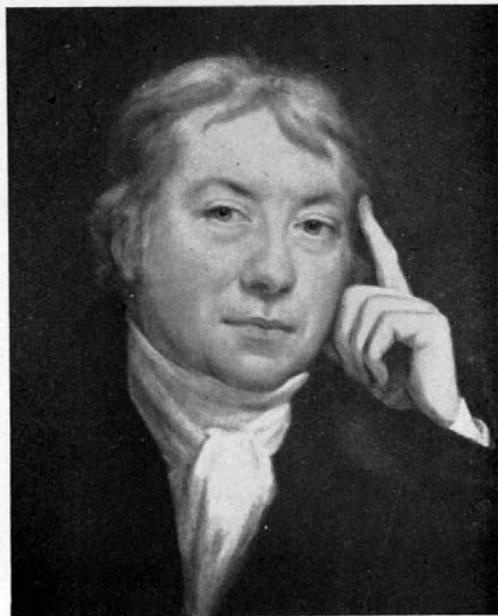
### 使用注意：

本版的中文版權還是屬於楊新北先生或長堤出版社，因此所有內容僅限於學術或教育使用，請勿另行製作或轉換成商品，或者有任何獲取利益之行為。

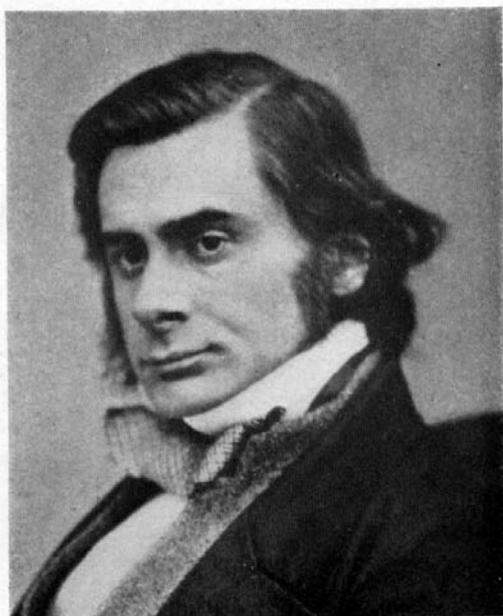
法拉第、詹納  
赫胥黎、孟德爾



MICHAEL FARADAY 1791-1867



EDWARD JENNER 1749-1823

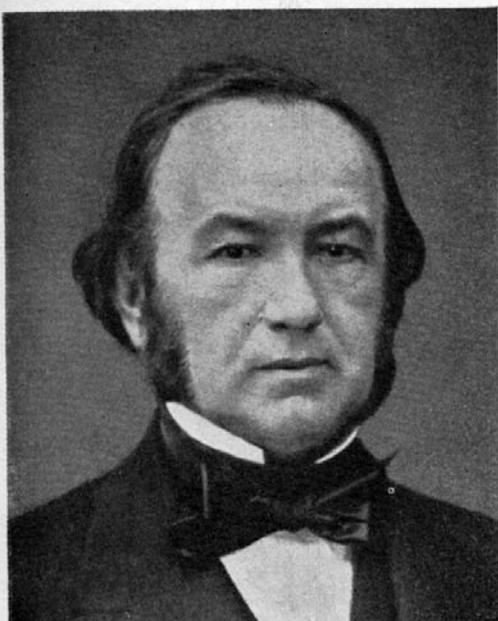


THOMAS HUXLEY 1825-1895



GREGOR MENDEL 1822-1884

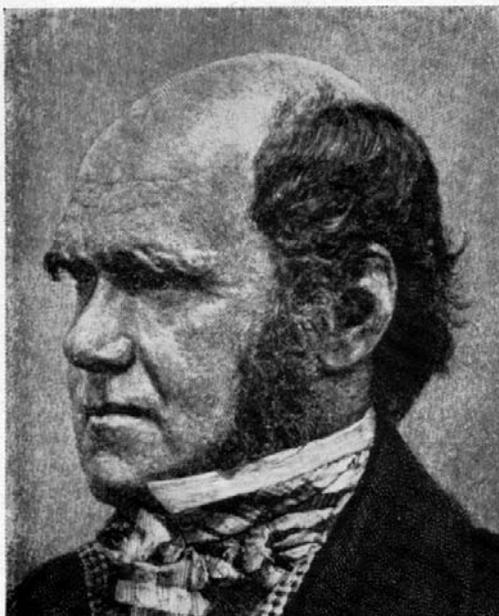
貝爾納·巴斯德  
達爾文·埃利希



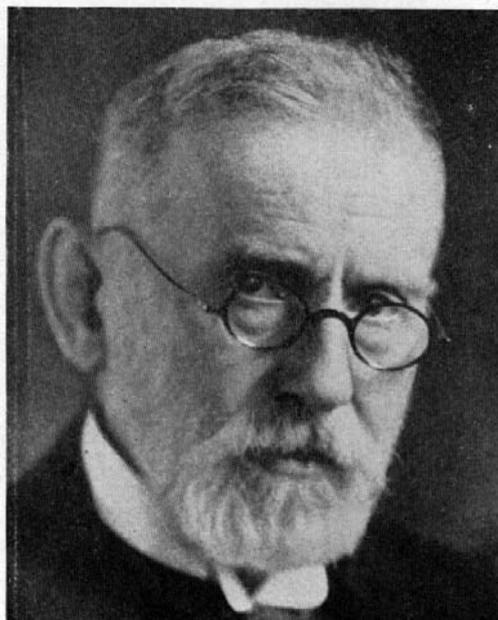
CLAUDE BERNARD 1813-1878



LOUIS PASTEUR 1822-1895

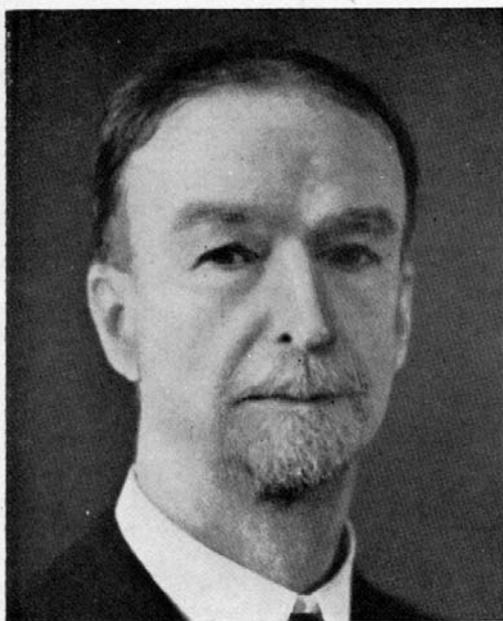


CHARLES DARWIN 1809-1882



PAUL EHRLICH 1854-1915

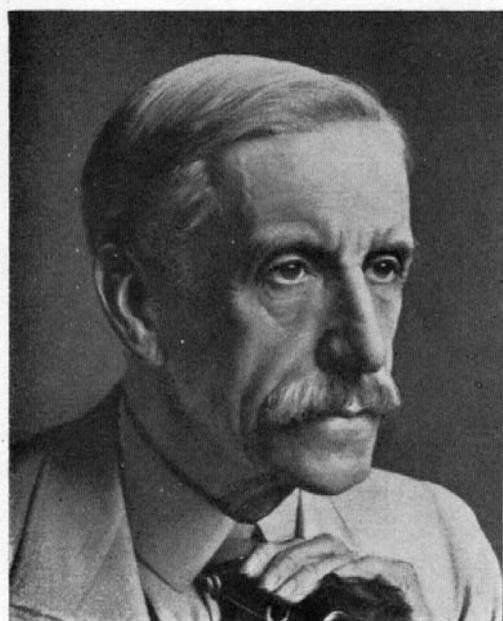
史密斯、坎農  
霍普金斯、戴爾



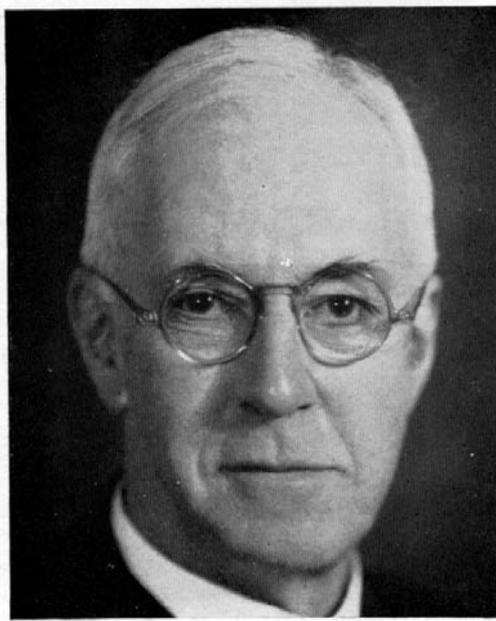
THEOBALD SMITH 1859-1934



WALTER B. CANNON 1871-1945



SIR GOWLAND HOPKINS 1861-1947



SIR HENRY DALE 1875-

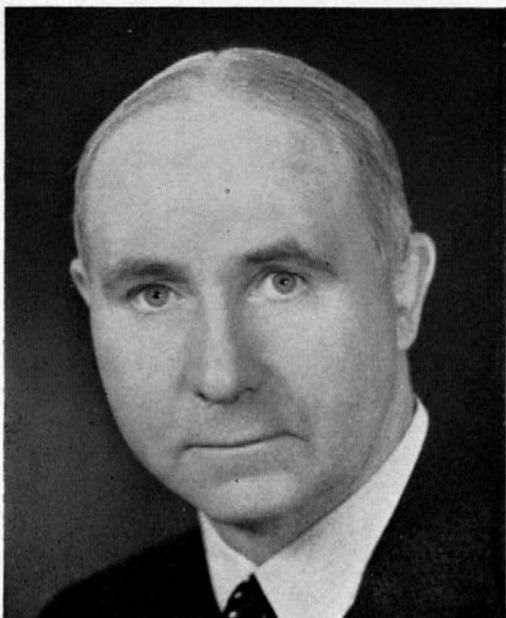
弗萊明、弗洛里  
威爾遜、伯內特



SIR ALEXANDER FLEMING



SIR HOWARD FLOREY



G. S. WILSON



F. M. BURNET

FOUR LIVING SCIENTISTS

# 序言

## 譯序

這是一本論述科學研究的實踐與思維技巧的書。作者威廉·伊恩·比德莫爾·貝弗里奇 (William Ian Beardmore Beveridge) 一九〇八年出生於澳大利亞，於一九四七年起任英國劍橋大學動物病理學教授，是一位卓有成效的科學家。本書綜合了本世紀和上世紀一些著名科學家的經驗、見解，又結合了作者本人的經驗、教訓，立論鮮明，編排醒目，語言也饒有風趣。譯者願將這本書介紹給國內有志於科學的讀者。

關於本書的宗旨、內容和對象，原作序言已有說明，無需譯者贅述。在此僅就本書作者的觀點略談一二。

本書作者十分注重實驗和觀察，非常強調審慎推理與客觀判斷。就是對待『機遇』、『直覺』這些偶然性很大的因素，作者也一再強調只有有備而來的人才能認出機會，利用機會；『直覺』必須以對問題持續自覺的思考來作思想上的準備。作者這種貫穿始終的科學態度是自然科學工作者最可貴的品質。

同時，作者的治學態度也十分嚴謹。他反復強調在進行實驗或觀測時，要密切注意細節，作出詳細的筆記，切不可把觀察到的現象與實驗者本人對現象的解釋二者混為一談。他一再告誡人們，切勿讓推理的進展超越事實，否則定會誤入歧途。另一方面，他主張用批判的精神來閱讀，力求保持獨立思考能力，避免因循守舊。他還鼓勵科學工作者彼此切磋，互相探討，打開眼界，以免鼠目寸光，作井蛙之嘆。

這本書的最後兩章著重論述了科學的組織工作、科學工作者必備的條件和素質以及科學家生活的種種特點。因此本書不僅對那些攀登險峰的勇士是一根得力的柱杖，而且對那些選拔勇士、組織攀登的現代『伯樂』也是一本很好的參考書。

本書根據第三版譯出。有些地方做了必要的注釋，文中帶圓括弧的號碼即參考文獻中的目次（網路版省略了參考文獻），指引文或概念的原始出處。限於譯者個人的水準，錯誤、缺點在所難免，望讀者批評、指正。

譯者 [楊新北](#)

一九八三年四月

## 原序

精密儀器在現代科學中有重要的作用。但我有時懷疑，人們是否容易忘記 科學研究中最重要工具始終是人的頭腦。人們固然花費了不少時間和精力去訓練和充實科學家的頭腦，但是，對於如何充分利用頭腦，在技術細節上卻幾乎未加注意。在科學研究的實踐和思維技巧方面，尚無一本令人滿意的書把有關知識貫穿起來。這種不足促使我寫此書作為研究工作入門的導引。這本書是對這一複雜艱深論題的小小貢獻，首要的對象是即將從事研究工作的學生，但也希望能吸引更廣泛的讀者。

我力圖分析獲得新發現的方法，綜合有成就科學家觀點中帶有普遍性的東西，並寫進那些會對青年科學家有用而又有趣的材料。為了把這些素材寫得簡明易懂，有些地方我採用了坦率的說教口吻，這可能將某些有爭辯的觀點過分簡化了。但是，教條主義是與我的原意背道而馳的，我試固推斷並闡明盡可能多的科學研究指導原則，以至於擺在學生面前的可能是一些具體的見解。我並不要求讀者接受我的觀點，而是把這些觀點視為供他們思考的建議。

科學研究是一種高度複雜而又難以捉摸的活動，在研究人員的頭腦中往往並不明確。這或許就是大多數科學家認為，無法就研究方法進行正規教育的緣故。大家都承認，科學研究的訓練主要是自我訓練，若能在實際研究操作中得到有經驗科學家的指點則更好。儘管如此，我仍相信可以從別人的經驗中學到某些啟示與原則。常言道『智者請教他人，傻瓜只學自己。』誠然，任何一種訓練，都遠遠不止於聽別人的指點。人們要學會把原理付諸實施，並養成運用原理的習慣，必須透過實踐。但是，在應該掌握那些技巧才能正確的得到指導，也是有所裨益的。很多情況下，本書僅僅是指出了可能遇到的困難，亦即必要時必須全力正視並克服的困難。然而，言之在先亦不無幫助。

所謂科學研究就是對新知識的探求，所以它對有獨創精神的人特別具有吸引力，他們所用的方法亦各不相同。甲所遵循的方法對乙則未必合用。不同的學科也需要不同的方法。但是，有些基本原理和思維技巧是大多數科學研究共同使用的，至少在生物學領域是如此。法國大生理學家貝爾納 (Claude Bernard) 說：『良好的方法能使我們進一步地發揮運用天賦的才能，而拙劣的方法則可能阻礙才能的發揮。因此，科學中難能可貴的創造性才華，由於方法拙劣可能被削弱，甚至被扼殺；而良好的方法則會增長、促進這種才華。... 在生物學中，由於現象複雜，謬誤的來源又極多，方法的作用較之其他科學更為重要』

具有天賦研究能力的曠世奇才不會得益於研究方法的指導，但未來的研究者多數不是天才，給這些人一些科研方法的指點，較之聽任他們憑借個人經驗事倍功半地去摸索，應有助於他們早日獲得成果。有一次一位著名科學家告訴我，他經常故意一段時間不管學生，以便使他們有機會自己尋找適應工作的方法。這種以非沉即浮原理為依據的方法，用於甄拔人才，或許有其可取之處，但是比起把孩子扔進水裏的

原始方法，我們今天有更好的教游泳的辦法。

人們普遍認為，大多數人的創造能力很早就開始衰退。對於一個科學家來說，姑且假定他遲早會懂得如何最有效地進行研究工作，但如果完全靠自己摸索，到他學會這種方法時，他最富有創造力的年華或許已經逝去。因此，如果在研究中有可能通過研究方法的指導，來縮短科學工作者摸索的學習階段，那麼，不僅可以節省訓練的時間，而且科學家獲得的成果也會比一個用較慢方法培養出的科學家所能做的多。這只是一種推測，但其可能具有的重要意義是值得深思的。另一種考慮是：未來的研究者所必需的正規教育量日益增加，這就有可能會減少他們最富創造性的年華。也許這兩種不良後果都可能因我們所建議的指導方法而有所解決。

試圖研究如此廣泛複雜課題的任何一本書，也許都難免會有不足之處。我希望本書能起拋磚引玉作用，引起更多成就比我大、經驗比我多的作者來就這個題材撰述，豐富這已有的系統化的知識。對於在心理學方面沒有受過任何正規教育的我，竟然論及研究工作的心理學，不免失於冒昧。但是，想到生物學家涉足心理學並不比心理學家或邏輯學家涉足生物學研究有更多誤入迷津的危險，就又增添了勇氣。大多數論述科學方法的著作，都從邏輯學或哲學角度看眼，本書則側重於科學研究的心理活動和實踐。

我覺得很難按邏輯順序編排所討論的各個不同題目；關於機遇、假設、想象力、直覺、推理和觀察各章，在次序上完全是作者任意安排的。第一章第二部分總結了科學研究的步驟。我頗費周章地搜尋了一些小故事來說明新發現的經過，因為這些小故事對於那些想了解知識進展過程的人可能有用。每個小故事均按其最適於說明的科學研究方案，在有關章節中引用，但其影響所及決不限於一點。其它的小故事收集在附錄部份。我在好幾處都提到了自己的經驗，作為一種直接知識的來源，對此，在這裏預先表示歉意。

對於向我提供有益的建議、批評和參考資料的各位朋友和同事，我謹表示衷心感謝。承蒙下列各位好意替我審閱初稿，並提出了寶貴的意見，他們是艾伯克龍比 (M. Abercrombie) 博士、安德魯斯 (C.H. Andrews) 博士、巴特利特 (F. Bartlett) 爵士、巴切勒 (G.K. Batchlor) 博士、克龍比 (A.C. Crombie) 博士、尤爾 (T.K. Ewer) 博士、格雷厄姆-史密斯 (G.S. Graham-Smith) 博士、格林德利 (G.C. Grindley) 先生、瓊斯 (H.L. Jones) 先生、拉佩奇 (G. Lapage) 博士、馬丁 (C. Martin) 爵士、麥克唐納 (I. Macdonald) 博士、麥克利蒙特 (G.L. McClymont) 博士、斯蒂芬森 (M. Stephenson) 博士以及威爾金森 (D.H. Wilkinson) 博士。然而決不能因此認為上述各位科學家贊同本書的全部觀點。

## 第二版序

本書出版以來，不少科學家或撰寫書評或個別交談，對本書所述研究方法表示贊同，作者對此不勝感激。在主要原則問題上迄未見到嚴重分歧。因此在第二版時作者可以以更大的信心將本書奉獻給讀者。

作者收到許多熱心人的來信，或證實書中的觀點，或指出某些小的錯誤，作者謹此表示謝忱。第二版僅在某些小的地方做了更動，唯對『推理』一章作了部份的改寫。

貝弗里奇

一九五三年七月 於劍橋大學

## 第三版序

第三版僅在第二版的基礎上做了些小的改動，大多屬於次要的性質，附錄中增添了兩個很好的例子以說明機遇的作用。

貝弗里奇

一九五七年九月 於劍橋大學

# 引言

## 科學家與偵探

在科學的研究中所遇到的問題與偵探辦案時所遇到的問題極為相似，在實質上，科學研究與偵探辦案雖不相同，但很明顯的，偵探辦案所使用的方法與科學研究所用的方法是相同的。機警的偵探對於最麻煩的無頭案件或神秘案件都有辦法偵破，密西根大學教授伊文柯比 (Irving Copi) 博士舉出柯南道爾 (A. Conan Doyle)筆下的福爾摩斯 (Sherlock Holmes) 破案的方法。



### (1) 認清問題 *Problem*

福爾摩斯對每一案件皆細心揣摩分析，故常能見人所未見，知人所未知，一草一木都不放過，別人認為平凡甚至其笨無比的作法，而福爾摩斯往往能從人所不注意之處找到了關鍵所在。據說他每當心裏有未解決的問題時，他常數日甚至一週不眠不休，反覆對事實求證，直到他自認已了解全案或已能控制案情的資料為止。

科學研究與偵探辦案的共同點，都是為解決問題的行動，也就是說，在他們還沒有開始工作前就有一個問題存在。然後，就必須先了解問題，作類似的實驗與想法，找出問題的線索與癥結。例如，福爾摩斯接到了一封信，說玻理斯頓路三號發生了一件命案，他立即前往出事地點勘察。相同的，在十八世紀時，熱的理論廣泛的被接受，當時認為熱是一種稀薄而有高度伸縮性的流體，所以可以加到一個物體身上，也可以由一個物體身上流出來，因此致使人體的溫度有所改變，這種把熱假設為流體的理論在當時是牢不可破的，到了十八世紀末，認為熱為一種物質 (a matter substance) 已為大家普遍接受。科學家羅福特 (Rumford 1753-1814) 由於看到製造大砲時因鑽孔而生高熱，使他覺得物質的本質既不能創造熱，也不能毀滅熱，發熱與體積伸縮也無關，在此羅福特與福爾摩斯都面對著一個問題了。

## (2) 初步假設 *Preliminary hypotheses*

福爾摩斯還未到現場之前，他對案情不作任何揣測與預斷，他認為那是最危險的，他曾說：『在你還沒有任何證據之前就作推論，那是最大的錯誤與偏見，而不是判斷。』所以一個人在未收集到證據之前，切不可作成最後的判定 (final judgment)，不過要收集資料又不能不先有推理，否則資料無法收集起來，達爾文曾說：『只要是有用的任何觀點，不論是贊成的還是反對的，都必須加以觀察。』要收集贊成或反對的有關資料，就須要有初步的假設作基礎，這種假設不必是完整的理論，但至少要是一個大略的認識，否則便無法決定如何去搜集資料了。例如：玻理斯頓路三號的謀殺案，使福爾摩斯第一考慮到的是趕快到現場收集資料，因為謀殺現場可能留有重要的線索，但現場的資料可能非常的多與複雜，如果沒有初步的假設，將會不知如何著手收集有關的資料。相同的，由於羅福特對熱發生疑問，他要對自己的觀點有所解釋，所以他也進入了第二步驟，即初步的假設，他認為熱的產生並非任何物體本質的縮減（物質無任何損耗即可產生無限量的熱）。不過，初步的假設一定要具有高度的推測性，它必須基於過去的經驗。不管怎麼說，問題出現以後，要開始作調查研究就必須先有初步假設，但它決不是完全可靠的，問題最後所得到的解決方案也許會與它大相逕庭，所以這一推測究竟有多大的可靠性，那是需要經過調查的程序才能知道的。

## (3) 收集相關資料 *Collecting additional facts*

有了初步假設，就可以收集資料，希望由獲得的資料發現足移的線索以作為破案的依據。收集相關資料大有學問，初出茅廬而缺乏經驗的新手常會忽視某些極重要的資料。例如，福爾摩斯去調查凶案，在距離現場一百碼時，他就下車步行，仔細勘察房子周圍的環境，尤其是通往凶宅之路，到凶宅之後，別人茫無頭緒，但他已經開始收集資料，首先他詳細檢查死者，然後又注視室內的情況，每一點每一處都不放過。

通常第二步驟與第三步驟是無法截然分開的，它們互有關聯且互相依存。不錯，要開始任何收集行動，必先要有初步假設，但是有了新的資料以後，也可能從而產生新的假設，而這新的假設又會有新的事實加入。可能又會產生另外的假設，因此因果循環不已。福爾摩斯在凶宅仔細檢查已使他形成進一步的假設，他幾乎已把案情了解得一清二楚，他對警署的偵探說：『這個謀殺案的凶手是男的，約六尺多高，血氣方剛之年，兩腳不大，衣著不雅，穿方頭馬靴，抽托利支普利牌香煙。他同死者共乘同一輛四輪出租馬車來這裏，拉車的馬所釘的馬蹄鐵三支舊的，一隻新的，而新的是在前蹄上。謀殺者極可能有一張漂亮的面孔，右手指甲很長。這些是目前僅能知道的資料，對你可能有點幫助。』兩個警探互視一笑，其中一個問道：『假如死者是被謀殺的，那麼是如何被殺的呢？』福爾摩斯答：『毒藥』。相同的，羅福特於第二步驟有了初步的假設，他便進一步的收集資料，實地來驗證這一假設，他用鋼鑽鑽鐵，產生了無限的熱，而物體本身並沒有縮減，這一事實，明顯的與原有理論不合，依照原有理論，任何物體內所含的熱都是有限的。

#### (4) 做成假設 *Formulating hypothesis*

調查到某一階段，就感到需要對所有事實有一解決方案，實際上這是解釋假設的一個程序，在此需要想像力與豐沛的知識來描述這個程序，這須向後推論。福爾摩斯對此曾指出：『大多數人，假如你對他們描述某事件的某一部份，他就會想告訴你結果是如何了，他們很容易把某些事件揉合在一起，從而推論出將會有那些事要發生。但很少人能夠，當你告訴他一個結果時，他卻能運用想像力或思維把導致此一結果的每一步驟清晰地浮現在腦海裏。』相同的，羅福特在第三步驟收集資料後，就進入此一步驟，即作成假設，而須使此假設能解釋一切四週遭遇到的問題。羅氏的假設：熱是一種運動的形式，這就是後來稱之為『熱的機械論』或稱之為『熱的動力說』。

#### (5) 進一步的演證 *Deducing further consequences*

一個真正有用的假設不僅可以解釋原先我們認定事件發生的經過，而且還要可以解釋新發掘到的資料，如果這兩方面都沒問題，那麼這個假設我們方可接受，而事件的結論也因而獲得進一步的證實。換句話說，一個健全的假設，不僅要解釋過去，也要能解釋（或預測）將來，否則便難望成立。例如：福爾摩斯假設謀殺案是毒殺，後來又發現死者的秘書及其遊伴也是被毒死的，並進一步的發現了毒藥丸，這一連串的新發現，更進一步的證實了他的假設之真確性。相同的，羅福特做成假設後，就必須加以檢驗，另一個科學家戴維 (Humphry Davy 1778-1829) 對此作了貢獻，他檢驗的結果，發現新舊兩說，極端矛盾。他說：『假如熱素論（原有理論）為真，則兩塊冰在冰點以下，在真空裏無論怎麼磨擦都不會有融化現象。』另一方面，他也給熱動力說作了實驗，即兩塊冰塊在一起摩擦就會有融化現象，而不管此種摩擦是在什麼溫度，或者是在真空或不真空中進行的。這些推論法也指出了進一步實驗的途徑。

#### (6) 檢驗結論 *Testing the consequence*

由假設所演繹出的結論，可以用各種方法加以檢驗，有些只要觀察即可，有些卻一定要經過實驗來檢驗，像前述的謀殺案，藥丸是否有劇毒，就必須經過實驗來檢驗。福爾摩斯將藥丸拿出一粒，用水和牛奶混合以後給狗吃，誰知狗吃後卻毫無反應，這使他的假設受到了考驗，他深感困擾，左思右想，忽然叫了起來『有了！』他又從藥瓶中拿出一粒藥，拌牛奶給狗吃，那隻狗剛用舌頭舔一舔就不支倒地，這就獲得了證明，於是福爾摩斯的假設遂使人深信不疑了。相同的，戴維使用了第五步驟的推論法，做了更嚴密的實驗，結果證明『熱動力說』為正確，也就否定了原來的理論。後來英國有一位物理學家焦耳 (James Joule 1818-1889) 則更作了一個重要的實驗，使『熱動力說』成為『定量說』而建立了『熱的機械等量說』(quantitative mechanical equivalent of heat)。

#### (7) 實際應用 *Application*

偵探工作的最後目的就是實用，他不能只解釋事件就算完事，而是要偵破刑案。後者就是理論的實際應用問題。在狗被毒斃後不久，福爾摩斯就用計逮捕到謀殺者 - 馬車伕。相同的，『熱動力論』由於是定量形式，因而更具實用價值。在實用方面，有些理論性的，如『氣體動力論』，就是由此一學說而把機械論與現象論連結起來。『熱動力學』現差不多已成為一門獨立科學，就是此一連合的結果。這個理論最明顯的實際應用是在人工冰凍方面，這也可以說是由此一學說而使工業上獲致的唯一成果。

以上我們是描述偵探工作如同科學研究工作，從觀察資料到檢證假設，都要經過推理過程，而所作出的假設不僅要能詮釋事實而且要能實際應用。

伊文·柯比 *Irving Copi*

# 第一章 準備工作 Preparation

跋足而不迷路能趕過健步如飛但誤入歧途的人。

- 弗蘭西斯·培根 -

學習·著手研究問題·提要

## 學習 Study

科學研究工作者是活到老學到老的。由於必須使自己跟上知識的發展，研究人員的準備工作是永無止境的。這主要通過閱讀當前的科學期刊。如同看報一樣，這種學習成為習慣，構成科學家正常生活的一部分。

一九五二年版的《世界科學雜誌一覽》編入了五萬多種期刊。簡單計算就可看出：這相當於一年閱讀近二百萬篇文章，或一周四萬篇。這說明，除了閱讀與自己最相關的那一小部分文獻外，要想多涉獵其它是絕對不可能的。大多數科學研究工作者，試圖定期查看或至少是翻閱二十種到四十種期刊文章的標題。同看報一樣，大部分資料只略讀一下，只有對自己可能有所裨益的文章才細加閱讀。

初學者應該請教本行中有經驗的研究工作者，以了解那些雜誌對自己最為重要。文摘期刊 (review) 總是比原期刊遲後一段時間，僅就這點而言，價值也很有限；但文摘刊物能使科學工作者了解各種不同的文獻內容，對那些接觸不到大量雜誌的人尤為可貴。在通過索引刊物和目錄查找參考資料，並學會使用圖書館方面，需給學生以適當的指導。

通常，對於述及有關自己研究的文獻要仔細地閱讀。然而，也有科學家認為這樣做並不明智。關於這一點，乍看之下似乎令人不解。他們說：閱讀他人有關這一課題的文章會限制思想，使讀者也用同一方法去觀察問題，從而使尋求新的有效方法更加困難。有人甚至提出理由，反對過多閱讀所要研究的學科領域中一般性的論文。凱特林 (Charles Kettering) 曾參與發現把『四乙鉛』作為發動機燃料的抗震劑，並改進了卡車、公共汽車用的柴油機。他說過：閱讀傳統教科書會使人墨守陳規，而擺脫陳規和解決這個問題一樣費勁。很多成功的發明家並不是在他們受到訓練的科學領域做出了輝煌的發現。巴斯德 (Louis Pasteur)、梅契尼科夫、伽伐尼 (Luigi Galvani) 就是著名的例子。一個名叫米爾斯 (J.H.W. Mules) 的牧羊人，沒有受過科學研究的訓練，卻發現了很多科學家未能發現的一種防止澳大利亞羊群發作肉蠅病的方法。發明生產廉價鋼方法的貝塞麥 (Henry Bessemer) 說過：『比起許多研究同樣問題的人，我有一個極為有利的條件，那就是：我的思想沒有被長期既定的慣例所形成的固定觀念束縛，而造成偏見。現存的一切都是正確的信念，也沒有讓我受害。』但是，如同許多這一類的『門外漢』那樣，貝塞麥雖在某一個學科領域中一無所知，並擺脫了既定思想方式的影響，但在其他學科領域中卻是有知識、有訓練的。貝爾納的話也是同樣的意思：『構

成我們學習上最大障礙的是已知的東西，而不是未知的東西。」所有從事創造性研究工作的人都面臨這一難題。拜倫 (George Gordon Byron) 寫道：『要有獨到之見必須多思少讀。但這是不可能的，因為在學會思考以前自己勢必先閱讀。』蕭伯納 (George Bernard Shaw) 的妙語『讀書使人迂腐』也說明了這個問題，並不像初看起來那樣荒誕無稽。

這一現象可以這樣解釋：當充滿豐富知識的頭腦思考問題時，相關的知識就成為思考的焦點。如果這些知識對於所思考的問題已經足夠，那就可能得出解決的方法。但是，這些知識如果不夠（從事研究工作時往往如此），那麼，已有的一大堆知識就使得頭腦更難想像出新穎獨創的見解，其原因下面再談。此外，有些知識也許實際上是虛妄的。在這種情況下，對於新的有成效見解的產生，會造成更嚴重的障礙。

因此，如果研究的對象是一個仍在發展的學科，或是一個新的問題，或問題雖已解決但卻是一種新的看法，這時對學科內行的人最有利。但是，若研究的是一個不再發展的學科，這一領域的問題業已解決，那麼就需要一種革命性的方法，而這種方法更可能由一個對此外行的人提出。內行人幾乎總是對革新的思想抱著懷疑的態度，這正說明已有的知識變成了障礙。

解決這個問題的最好方法是以批判精神來閱讀，力求保持獨立思考能力，避免因循守舊。過多閱讀滯礙思想的發展，這主要是對那些思想方法錯誤的人而言。若是用閱讀來啟發思想，若是科學家在閱讀的同時積極從事研究活動，那就不一定會影響其觀點的獨創精神。無論如何，多數科學家都認為：研究一個問題時，對該問題的解決已經到什麼程度一無所知，是更為嚴重的障礙。

開始從事研究工作的年輕科學家，最普遍的一個錯誤是：盡信書上所言，把報導的實驗結果與作者對結果的解釋混為一談。培根說：『讀書時不可存心詰難作者，不可盡信書上所言，... 而應推敲細思。』

具有正確研究觀點的人養成這樣一種習慣，把書上所言跟自己的經驗知識加以比較，並尋找有意義的相似處和共同點。這種學習方法也是形成假設的一種方法。例如，達爾文 (Charles Robert Darwin) 和華萊士 (Alfred Russel Wallace) 就是這樣找到進化論中『適者生存』的觀點。

成功的科學家往往是興趣廣泛的人，他們的獨創精神可能來自他們的博學。正如我們以後在『想像力』一章裏要談到的，獨創的精神往往在於把原先未曾想到會有關連的觀點聯繫起來。此外，廣博會使人觀點新穎，而過於長時間鑽研一個狹窄的領域則易使人愚鈍。因此，閱讀不應局限於正在研究的問題，也不應局限於自己的學科領域，甚至不應拘限於科學本身。然而，除了與自己直接有關的知識，為了儘量節省用於閱讀的時間，絕大部分資料可以浮光掠影，一帶而過，而仰仗摘要和書評來跟上發展的主流。科學研究工作者如不培養廣泛的興趣，其知識層面可能越來越狹窄，只局限於自己的專業知識。教書的一個有利條件是，一個兼做教學工作的科學家，比一個單純從事研究工作的科學家，更會要求在廣泛的領域裏跟上科學的進展。

對於普遍定律具有清晰的概念，而不把它們看作一成不變的法則，這比用一大堆瑣碎的技術資料來充斥頭腦重要得多，因為這種技術資料在參考書和索引卡片上很容易找到。對於創造性思維來說，見林比見樹更重要（學生常有見樹不見林的危險）。一個頭腦成熟，對科學事物有過深思熟慮的科學家，不僅有時間積聚技術細節，而且掌握了足以見到森林的全局觀。

上述這些決不是要貶低在基本科學方面打下完備基礎的重要性。在廣闊的領域裏『泛讀』和『略讀』具有什麼價值，大部份取決於讀者是否有足夠的知識層面，以便迅速思量其所報導的新成果，並攫取其中重要的發現。有人說：青年時期在科學上所奠定的基礎，其所能負載的極限，就是他日後科學思維發展的極限。這確實有他的道理存在。

在無需細讀的時候，學會略讀的技巧是很有幫助的。正確的略讀可使人用很少的時間接觸大量的文獻，並挑選出具有特別意義的部分。當然，有些作品的風格本身就比其他的更適合於略讀。對於嚴密推理或精煉的文章，或任何一篇讀者意欲深入鑽研的文章，則不可略讀。

大多數科學家發現，做索引卡片的方法很有用，即在卡片上把與自己的研究特別有關的文章作出簡明的摘要。再者，做摘要的過程也能幫助自己記憶文章的要點。在通篇快讀對全貌有所了解以後，讀者可以回到那些此時方才充分認識其意義的章節段落，重新閱讀與思考，並做筆記。

一個剛剛畢業的學生，第二年常常學習一門別的科目，以便使自己有更好的條件做研究工作。過去那些說英語的從事研究工作的學生，如果不懂德語而又在中學學過法語，通常選學德語。我認為：在生物學方面，選修生物統計學對學生更有好處，其重要性下一章裏再談。能夠讀懂德語在從前是很重要的，但是，近十年來，用德語寫的生物學和醫學著作數量很少，以後幾年之內也不會很多。諸如斯堪的納維亞和日本等國的科學家，過去經常用德語寫作，現在則幾乎完全用英語。隨著科學在美國和英國的大發展，此時英語正在成為科學上的國際語言。一個學生物的學生若非有特殊理由要學德語，我則認為在德國科學振興以前，他應把時間花在其它更有用的事情上。在這方面也許值得一提德國偉大的化學家奧斯瓦爾德 (Wilhelm Ostwald) 有不尋常的觀點。他主張做研究工作的學生不宜於學習語言，他認為：拉丁文的傳統教學法尤其毀壞科學觀。斯賓塞 (Herbert Spencer) 也指出：語言學習易於助長對權威的尊崇，從而不利於獨立判斷能力的發展。而這種獨立判斷能力，對於科學家是特別重要的。好幾位著名的科學家，包括達爾文和愛因斯坦 (Albert Einstein) 在內，都對拉丁文深惡痛絕。這也許是由於他們獨立思考的頭腦，與不去搜尋佐證就接受權威的習慣是格格不入的吧。

上一段中關於語言學習可能造成有害影響的觀點並不是普遍被接受的。然而，在決定要不要學習某種語言或某門別的科目的時候，還有一個因素要加以考慮。那就是：學習價值不大的科目消耗了學習另一學科所需的時間和精力。而思想活躍的科學家經常面臨著一個所謂興趣競爭的問題：他難得有足夠的時間去做所有想做和應該做

的事，所以必須對什麼是可以忽略的東西作出抉擇。培根說得好：我們必須決定知識的相對價值。卡恰爾 (Cajal) 公開反對一切知識皆有益的觀點；反之，他說，學習無用的科目即使不佔據頭腦的位置，也佔用了寶貴的時間。雖則如此，我並不想說科目的選擇應該完全從實用的觀點出發，我們科學家無瑕閱讀一般文藝作品實在是件憾事。

學生如果不能上生物統計學的課，則可選讀有關這個科目中易懂的書或文章。我所知道最合適的有斯內德克 (G.W. Snedecor) 的著作，他論述統計學應用於動植物實驗裏的情況。還有希爾 (A. Bradford Hill) 的著作，主要談人體醫學中的統計學。托普萊 (Topley) 和威爾遜 (Wilson) 的細菌學教科書中有一章關於生物統計學在細菌學中的應用，很精彩。費歇爾 (R.A. Fisher) 教授的兩本書是經典著作，但有些人認為把它們當作入門學習稍嫌太難。如果生物學家對生物統計學不感興趣，則不必要求他成為這方面的專家。但是，他在這方面應該擁有足夠的知識，以免對它無故忽視或過分迷信，而且，他應該知道什麼時候該向生物統計學家請教。

年輕科學家還要注意科學論文寫作的技巧和藝術。科學論文的英語水準一般不高，無懈可擊者寥寥無幾。人們的主要意見還不在於英語不夠優美，而是 不清晰、不準確。正確使用語言之所以重要，不僅在於要能夠正確地論述研究過程，而且因為我們大部分的思維是通過語言進行的。有幾本很好的小冊子和文章是關於科學論文的寫作的。特里利斯 (Trelease) 專談寫作和編輯的技巧，卡普 (Kapp) 和奧爾伯特 (Allbutt) 則主要論述如何寫作各種英語文體，安德遜 (Anderson) 寫了一篇有關設計科學論文中圖表的文章，非常有用。我發現，撰寫書刊摘要幫助很大，能使我們通曉科學成果報導中出現的某些最嚴重的錯誤，同時領受到 惜墨如金 的良好訓練。

通過閱讀科學偉人的生平和著作，科學家豐富了自己的生活，加深了對科學的理解。從這些書本中得到的啟示使許多青年科學家受用終生。我可以推薦兩本最近出版的精彩傳記：杜博斯 (Dubos) 的《路易·巴斯德：科學的自由騎士》和馬夸特 (Marquardt) 的《保羅·埃利希 (Paul Ehrlich)》。近年來人們越來越注重科學史的研究。科學家對此都應略有所知：科學史對學科的日趨專門化是最好的彌補，並能擴大視野，更全面地認識科學。關於這方面的著作有些不寫成單純的編年史，而是深入評價知識的發展，把它看作演變的進程。還有浩瀚的文獻論述科學的哲學觀和科學方法的邏輯學。人們是否要進行這方面的研究取決於個人愛好，但是一般說來，這種學習對從事科學研究幫助不大。

參加科學會議對青年科學家是很有幫助的。在科學會議上，青年科學家可以看到別人如何發展其研究過程而對知識界有所貢獻。看他們如何評議論文，根據什麼評議論文，並對同行的科學家之個性有所了解。認識你所讀論文的作者，甚至僅僅知道他們的容貌，都會給科學研究增添不少興味。科學會議也是一個表現科學上無任何獨斷專行的民主氣氛之場所。因為在會議上，那些老資格的科學家也同樣可以受到批評。我們應爭取一切機會參加著名科學家舉行的特別報告會，因為這種報告會常常給人極大的啟發。例如伯內特 (F.M. Burnet) 一九四四年說過這樣一件事：一九二〇年他出席了馬森 (Orme Masson) 教授的報告會。馬森教授是一個對科學懷有真正感情的人，他不僅極其清晰地說明了原子物理的未來發展，而且描敘了他對事物有了新的理解後，

內心的愉快情景。伯內特說：雖然報告的內容他已大部份忘記了，但是當時激動的感受卻終生銘記在心。

### 著手研究問題 *Setting about the Problem*

在開始科學研究的時候，顯然，首先要決定研究的題目。雖然在這方面有必要請教一位有經驗的科學家，但是，做研究工作的學生若是自己擔起選題的主要責任，那麼成功的可能或許會更大。這樣選出的題目他會感到興趣，覺得是他自己的，而且會多加考慮，因為成功與否責任全在他身上。他最好能在實驗室老資格科學家的研究範圍內選擇題目，這樣就能得益於他們的指導和關注，自己的研究也能促進他們對自己工作的理解。雖則如此，有時科學家卻不得不就某一特定題目進行研究，這種情況常見於應用研究。在這種時候，只要對問題考慮充分，就不難找到有真正價值的問題。甚至可以這樣說，大多數題目都是科學家自己創造出來的。美國大細菌學家史密斯 (Theobald Smith) 說：他總是著手處理眼前擺著的問題，主要因為這樣子容易得到資料，在沒有資料的情況下，研究工作會寸步難行。有真正研究才能的學生要選一個合適的題目是不困難的。假如他在學習的過程中不曾注意到那裏值得去研究或理論上不一致的地方，或是根本沒有形成自己的想法，那麼作為一個研究工作者他是前途不大的。初學研究工作的人最好選擇一個很有可能獲得成果的題目，而這題目當然不要超出他的技術能力。成功是進一步發展的推動力，而不斷受挫則可能引起相反的效果。

題目選定以後，下一步就要確知在這方面別人已經做過那些研究。作為研究的起點，教科書往往很有用處，一篇新近出版的評論文章則更佳，因為二者都對現有的知識作了全面的總結，並提供了主要的參考資料。然而，教科書只是著作者撰書時期重要事實和假設的匯編，為了使全書連貫一致，可能去掉了不銜接和有矛盾的地方。因此，我們一定要查閱原著。每篇文章中都提到其它文章，如此按蹤尋跡就能找到有關題目的全部文獻。索引雜誌全面報導了任一學科大約一年以前的參考資料，非常有用。索引雜誌未編進的資料則需到個別的有關期刊中搜尋。《醫學累積索引季刊》《動物學記錄》《獸醫學索引》及《農業書目》分別是有關學科的標準索引刊物。受過正規訓練的圖書館管理員知道怎樣系統查閱文獻，科學家有幸得到他們幫助便可獲得任何有關科目的全部參考書目。最好在研究工作開始初期，對全部有關文獻作充分的研究，因為即使只漏了一篇重要論文，也可能使我們浪費很多精力。再者，在研究的過程中，以及在留意有關課題的新論文時，廣泛瀏覽各種資料，注意有無可利用的新原理、新技術，是非常有益的。

在傳染病研究方面，第二步是盡量搜集該疾病當地病例的第一手材料。舉例說，如果研究的是一種牲畜病，一般要實地進行觀察，親自探訪農民。這是實驗工作的重要先決條件。研究人員忽視了這一點，有時就會做一些與實際問題不太相干的實驗。適當的實驗室標本檢驗，通常作為這種現場工作的輔助工作。

農民常常會給觀察到的事物加上主觀的色彩以配合自己的觀點，也許一般門外漢都是如此。頭腦未經正規訓練的人往往注意並記住那些符合自己觀點的事物，而忽

略了與自己觀點不合的事物。進行調查必須巧妙而深入，以便準確地確定觀察到的現象，即把人們觀察到的現象同人們對這些現象的解釋分開。這種耐心的調查常常是很有收穫的，因為農民有極好的機會搜集材料。雪貂容易感染犬瘟熱病這一重要發現，就是從一個獵物看守人的斷言得到啟發。科學家們對他的話起初並不在意，幸好後來他們決定研究一下他的話是否真有道理。據說，意大利的農民相信瘧疾的傳播與蚊子有關已有兩千年了，但是直到五十年前這一事實才得到科學研究的證明。

整理資料、弄清資料之間的相互關係並試圖規定課題，在這一階段都是有益的。例如，研究一種疾病時，應通過判斷疾病的症狀來說明這是什麼樣的疾病，並從而將這種疾病的症狀與其它可能引起混淆的病症加以區分。據報導，傑克遜 (Hughlings Jackson) 說過這樣的話：『對於已發生的現象之研究，應先於對引發此現象之原因的研究。』為了證明這樣做的必要性，這裏舉一個典型的例子：野口從鉤端螺旋體性黃疸病人身上分離出螺旋體，說這就是黃熱病的起因。這一似真的錯誤，延誤了對黃熱病的研究（但關於野口因此自殺的誤傳是沒有根據的）。嚴重程度稍遜於此的例子更是屢見不鮮。

到這一步的時候，研究人員可以將課題分割成若干公式化的問題，並從實驗著手。在準備工作階段，科學研究人員不應消極地讓資料充斥頭腦，而應該尋找現有知識上較為貧乏的領域：不同作者報告中的差別、本地觀察到的現象和原先報告之間的矛盾、與有關課題相似的地方，以及自己實地考察中發現的線索。思想活躍的研究人員通常能大膽地提出假設，解釋所得的材料。從這些假設出發，通過實驗，或經由搜集到的資料之觀察，通常即可證明或否定某些結論。研究人員在充分考慮課題以後，決定要做的實驗應該是有可能得出最有用的結果，而又不超出研究人員技術能力和資金的限制。往往最好是從課題的幾個層面同時著手；然而，精力不宜過於分散，一俟找到某種有價值的論點，就應集中力量進行這一方面的工作。

同大多數的工作一樣，實驗的成功與否主要取決於準備工作的細緻程度。最有成就的實驗家常常是這樣的人：他們事先對課題加以周密思考，並將課題分成若干關鍵性的問題，然後，為尋求這些問題的答案精心設計實驗。一個關鍵性的實驗能得出符合一種假設，而不符合另一種假設的結果。津澤 (Hans Zinsser) 在寫到法國大細菌學家尼科爾 (Charles Nicolle) 時說：『在制定實驗方案之前，尼科爾屬於周密考慮，精心構思，從而取得成功的人。他決不像第二流人物，做那種心血來潮考慮不周的實驗，自己卻急得如熱鍋螞蟻。確實，看到許多實驗室大量平庸的論文時，我常常想到了螞蟻。... 相對的，尼科爾做的實驗很少，而且很簡單。但是，他做的每一個實驗都是長時間智力孕育的結果，考慮到一切可能的因素，並在最後的試驗中加以檢驗。然後，他單刀直入，不做虛功。這就是巴斯德的方法，也就是我們這個領域中所有偉大人物所使用的方法。他們清晰明確的實驗結論，對於那些具有欣賞能力的人來說，是一種莫大的精神享受。』

據說，劍橋大學的大生理學家巴克羅夫特 (Joseph Barcroft)，有一種本事，能把問題化為最簡單的要素，然後用最直接的方法找出答案。研究工作的計劃這一問題將在後面『戰略和戰術』一章中討論。

## 提要 *Summary*

研究人員的職責之一是跟上科學文獻。但是，若要不失獨創精神或保持新穎的觀點，閱讀時必須秉持批判、思考的態度。僅僅把知識當作資本，累積的投資是不夠的。

科學家自己選定的課題往往最容易有成果。但初學者選題仍以不要過難並能得到專家指導為宜。

下面是研究醫學和生物學的一般程序：(1) 批判性地審閱有關文獻；(2) 詳盡搜集現場資料，或進行同等的觀察調查，必要時輔之以實驗室標本檢驗；(3) 整理資料並把其中具有關聯的資料聯繫起來，規定課題，並將課題分成若干具體問題；(4) 對各問題的答案作出猜測，並儘量提出假設；(5) 設計實驗時，應首先檢驗較具關鍵性問題的假設。

## 第二章 實驗 Experimentation

實驗有兩個目的：(1) 觀察迄今未知或未加解釋的新事實；(2) 檢證為某一理論提出的假設是否與可視察到的事實相符合，但兩者往往是互不相干的。

- 雷內·杜博斯 -

生物學實驗·實驗的部署與估價·給人錯誤印象的實驗·提要

### 生物學實驗 *Biological experiments*

我們今天所認識的科學，可說是從文藝復興時期採用實驗方法開始的。然而，儘管實驗對於大多數學科都很重要，卻並非適用於一切的科學研究。例如，在描寫生物學、觀察生態學或者各種類型的醫學臨床研究中，都不用實驗。但即便如此，後一類型的研究也利用了很多同樣的原則。其主要不同點在於：假設的檢驗是從自然發生的現象中收集資料，而不是從人為地實驗條件下的現象中收集資料。在寫上一章最後部分和本章第一部分時，我的對象是實驗人員。但是，對於純觀察的研究工作者，這些章節可能也有幫助。

通常，實驗在於使事件在已控制的條件下發生，儘量消除外界不相干因素的影響；並能進行密切的觀察，以便揭示現象之間的關係。

『對照實驗』是生物學實驗中最重要的概念之一。在『對照實驗』中有兩個或兩個以上的相似組群（除了一切生物體所固有的變異性外，其餘的條件完全相同）：一個是『對照』組，作為比較的標準；另一個是『試驗』組，要通過某種實驗步驟，以便人們確定它對試驗的影響。人們通常使用『隨意抽取樣品』的方法來編組，即用抽籤或排除人為挑選的方法，把樣品分別編入甲組或乙組。按照傳統的實驗方法，除要研究的那一個變數外，各組其它一切方面都應儘量相似，而且實驗應該很簡單。『一次變化一個因素，並把全部情況進行記錄。』這一原則現仍廣泛採用，特別在動物實驗方面。但有了現代統計方法的幫助，現在已有可能設計同時試驗幾個變數的實驗了。

在研究工作的開頭應該儘可能進行一項關鍵性的簡單實驗，以判斷所考慮的主要假設是否成立。細節的計劃則可稍後作出。因此，在對各部分作試驗之前先對整體作試驗，往往是明智的。例如：當你想用純細菌培養物再次引起疾病之前，最好先試著用帶病組織傳染；在試驗化學分餾物的毒性、抗原性及其它影響前，應先試驗其原始提取物。這一原則看來似乎簡單、明顯，但常被忽視，從而浪費了許多時間。同樣這個原則，在初步試驗某個定量因素影響時，通常最好在一開始就斷定在極端條件下，例如使用大劑量的條件下，是否會影響實驗的結果。

與此十分相似的另一條原則是 逐步排除 的方法。有種猜謎遊戲，諸如提出『動物、植物、還是礦物』等一連串問題，就很傳神說明了這種方法。用逐步縮小可能性

的方法，常常比直接但是盲目的猜測能更快地找到未知的事物。該原則應用於稱重時，先試驗過重和過輕兩個重量，在實驗中所會產生的影響，然後使這兩個極端重量逐步接近。在用化學方法尋找一種未知的物質時，這種方法特別有用；但是這種方法也同樣經常應用於生物學各個分支領域中。例如，在研究某種疾病的起因時，有時，我們排除各種可能的選擇方案，最後只剩下一個可能性最高的方案。以便集中精力進行研究。

在生物學上，開始的時候進行一種小規模的初步實驗往往是一種好方法。除了經濟上的考慮以外，在最初階段就進行複雜的實驗，試圖對所有的問題作出全面的回答，往往很難得出理想的結果。不如讓研究工作分階段逐步進展，因為後面的實驗可能要根據前面實驗的結果加以修訂。『試點實驗』是初步實驗的一種，常用於以人或家畜為對象的實驗中。這是一種小規模的、往往是在實驗室進行的實驗，旨在確定是否值得進行全面的現場實驗。另一種初步實驗是『觀測實驗』，目的是為主要實驗的部署尋找指導原則。讓我們以傳染因子或毒性因子的活體滴定分析為例。在『觀測實驗』中，稀釋度間隔很大(如一百倍)，用於每一稀釋度的動物很少(如兩頭)。取得結果以後，在可能的滴定終點兩側再選擇間隔小(如五倍)的稀釋度，同時使用較大的動物群(如五頭)。通過這種方法，我們便可用最少量的動物而獲得準確的結果。

所謂的『篩選』試驗也是一種初步實驗。這是用大量物質進行的一種簡單的試驗，目的在於找出其中那一種東西值得進行進一步試驗，譬如藥物之類的東西。

偶爾，可以安排一種小型實驗或者試驗，以便在短時間內指出某一想法中某部份的佐證不夠，不值得進行大型的實驗。這類性質的簡略實驗有時可以如此安排：若是得出這樣的結果就有價值，若是得出那樣的結果就沒有價值。然而，這裏有一個最低的限度，即使是初步實驗，把『規模』降低到這個限度之下也就沒價值了。假如實驗確實有進行的價值，則應將其安排得至少很有可能取得有用的結果。由於急躁或是缺乏資金，年輕科學家往往魯莽從事，進行計劃不周的實驗，而這種實驗幾乎不可能取得有意義的成果。當簡略實驗被預計可能會得出可靠結果時，它才有資格成為複雜實驗的簡略實驗，也必須這樣我們才有理由進行這種簡略實驗。研究工作要在每一初步問題確定無疑以後才能進展到下一步，否則全部工作可以被稱為『草率馬虎』，這樣說是很恰當的。

作為一次成功的實驗，其最基本條件是要能再現(重新安排條件相同的實驗而得出相同的結果)。在生物學實驗上，這一條件經常很難滿足。在已知因素未變的情況下，如果實驗的結果不同，我們通常認為是由於某個或某些未知的因素影響著實驗的結果。我們應該歡迎這種情況；因為尋找未知的因素可能導致有趣或意外的發現。正像我的一位同事最近對我所說：『在實驗出毛病的時候我們得出了成果。』然而，我們首先應該知道是不是實驗技術上出了錯誤，因為最常犯的是技術上的錯誤。

做實驗的時候，在技術重點上採取極其審慎的態度是非常值得的。一種新技術方法的發明人，由於他能勤勉刻苦，對重要的細節小心重視，有時能夠獲得一些結果；相反的，對該課題不夠熟悉、不夠刻苦用心的研究人員是難以獲得的。就這一點而言，

卡萊爾 (Thomas Carlyle) 所說『天才就是無止境刻苦勤奮的能力』一語千真萬確。賴特 (Almroth Wright) 爵士選用羅林斯 (Rawlings) 傷寒桿菌菌株作為預防傷寒的接種疫苗，就是一個很好的例證。直到最近，由於利用了某些新技術，人們才發現羅林斯菌株是一種製作疫苗的極好菌株。賴特當初慎重地選擇了這種菌株，其所依據的理由在大多數人看來都是微不足道的。西奧博爾德·史密斯是一位難能可貴的大細菌學家，他談到研究工作時說：『決定實驗結果的，正是我們對於表面上微不足道、枯燥乏味、而且不勝麻煩的細節時，所採取的謹慎小心的態度。』

然而在這方面我們應該要有辨別能力，因為可能在無關緊要的細節上大做文章，以致浪費了時間。

對實驗工作的全部細節作詳盡的記錄，是一條最基本而重要的規則。人們經常需要回過頭來參考以前的某個實驗細節，而該細節所具有的意義在進行實驗的時候還意識不到。這種情況發生之頻繁是令人驚訝的。巴斯德保存的筆記就是這種精心記錄全部細節之重要性的出色例證。除了為所做的研究和所觀察到的現象提供可貴的記錄外，做筆記也是促使自己進行更為細緻觀察的一種有用方法。

實驗人員必須正確認識自己所使用的方法，認識這些方法可能受到的限制及其所能達到的精確程度。他們必須非常熟悉實驗用的方法，才能把它用於研究工作，並且必須能夠取得穩定可靠的結果。任何方法都難免要出差錯，難免會得出使人誤解的結果，實驗人員應能迅速發覺這類問題。如果可能，關係重大的定性和定量分析都要用另一方法加以核對。科學家對於自己的儀器也必須有所了解。現代的複雜儀器常常很便利，但也並不都是穩妥可靠的。所以有經驗的科學家常常避免使用這種儀器，以免產生給人錯誤印象的結果。

在實驗對象是人或珍貴家畜，只能對他們進行有限的對照實驗時，常常出現一些困難。如不能滿足對照實驗的基本要求，則最好放棄這種嘗試。這種說法看起來似乎簡單明瞭，但是，研究人員常常覺得困難太大，而採取妥協辦法而作了一些無用的安排。具備一個令人滿意的對照組是必要的，而這種必要性決不是用極多的實驗數量能代替的。兒童接種卡介苗的經過就是一個極好的例子。卡介苗的接種是二十五年前採用的，當時認為它能使人們免於感染結核病。儘管二十五年來作了大量的實驗，但是直到今天，卡介苗在歐洲人種免疫問題上是否有價值仍有爭論。由於對照組中實驗的對象都經不起嚴格的比較，大多數的實驗都說明不了問題。威爾遜 (Graham Selby Wilson) 教授有關卡介苗接種的評論很好地說明了實驗工作的困難和可能的危險。他的結論是：『這些結果表明，在從事以人為對象的對照實驗時，非常重要的一點是保證受接種的兒童和作為對照的兒童，在包括下列各種因素在內的各方面都十分相像：年齡、種族、性別、社會、經濟以及居住條件、智力水準、父母合作程度、感染疾病的可能性、享受幼兒保健等機構的福利，以及生病時所得到的治療。』〔譯註：嚴格說來並沒有絕對的對照組，而只有令人滿意的對照組，因為二個對照的實驗（例如一個施加某種藥物，另一個不施加這種藥物，把這兩個實驗結果加以比較）中被測試的對象無法完全相同，我們只能盡量要求那些可能影響實驗結果的因素相同，當然這只是一種假設而已，雖然科學實驗留有這個破綻，但也由於如此，我們才能繼續不斷的縫補它，如果一切都很完美，那我們也不可能

再進步了。]

威爾遜教授在談話中向我指出：一種據稱是對人類有效的藥物，如果不在實際使用之前做過有決定意義的實驗，那麼想在以後用未經此種治療的對照組進行比較的實驗，簡直是不可能的。日後，這種據稱是有效的藥物就被普遍採用了，至於它是否真正有效，則無從得知。例如，巴斯德的狂犬病治療法從未經過充分的實驗，以證明這種治療法對於被狂犬咬過的人們有防止狂犬症的效能。因而，一些權威人士懷疑該療法是否真有價值。但是，現在已經不可能再去進行一種試驗：那就是不給受狂犬咬過的對照組的人進行此種治療。

使各組處於不同環境之中，有時是現場實驗中不可缺少的組成部分。在這種實驗中，人們難以確定觀察到的差異，究竟是由觀察的特定因素所造成的，還是由與環境有關的其它變數所造成的。有時，我們用這樣的方法克服這個困難，照樣再編成試驗組和對照，從而，發現甚至消除環境造成的任何影響。如果不能排除那些觀察到、但認為是外來的變數，那麼，也許有必要使用一系列的對照組，或進行一系列的實驗，以便把所比較的兩個群體中，每一已知的差異從實驗上分離出來。

如有可能，應該用某種客觀的尺度來評定實驗結果。然而這一點有時做不到，比如，當實驗結果是關係到臨床症狀或是對有機體組織結構變化進行比較時，對實驗結果的評定可能會受到主觀因素的影響。這時，應該保證判斷實驗結果的人確實不知道每一個個體屬於那一組，以求其判斷的客觀性，這一點是重要的。不論科學家確信他自己是如何的客觀，如果在進行判斷時他知道那些病例屬於那一組的話，就很難保證他的判斷沒有下意識地受到偏見的影響。一個責任心強的實驗人員，由於意識到這種危險，甚至也有可能犯那種使他的判斷偏向到與預期結果相反方向上的錯誤。當然，智力活動上完完全全的忠實態度是實驗工作的首要基本條件。

在完成了實驗，並且必要時借助生物統計學評定了實驗結果以後，應將實驗結果與已知有關該課題的一切加以聯繫，作出解釋。

### **實驗的部署與估價** *Planning and assessing experiments*

生物統計學，即把數理統計的方法應用於生物學，是一門比較新的學科。它對研究工作的重要性直到最近才得到普遍的承認。第一章已經提到了有關這個學科的著作，這裏我不想多說，只想提醒讀者注意幾個普遍性的規律，並強調指出研究人員要至少必須懂得這些一般原理。對統計方法略知一二，在於涉及到數值的任何形式實驗或觀察性研究都是不可少的；而對有一個變數以上的複雜實驗，則更是如此。

首先，初做研究的人必須懂得：在實驗部署階段就必須考慮到統計學。否則，實驗的結果可能沒有進行統計學處理的價值。因而，生物統計學不僅涉及實驗結果的解釋，而且也用於實驗的部署。人們通常認為：除純粹的統計方法外，生物統計學還把這些方法應用於實驗所涉及到的各種更為廣泛的問題，諸如實驗設計的一般原則以及有關的邏輯性問題等。費歇爾爵士對生物統計學方法的發展作了很大貢獻。他的著

作《實驗的設計》一書就討論了這些問題。

選擇對照組和試驗組時，首先要顧及邏輯和常識。舉例說，人們通常犯這樣的錯誤：加以比較的各組不是在同一時間進行的，即把今年獲得的資料同前幾年獲得的資料加以比較。這樣獲得的證據，雖然可以作出一些有益的啟示，但是決不可能證明什麼結果。『你拿小桶淘海水，如果趕上落潮，你和月亮都有大功勞。』在生物學研究中，可能有許多意想不到的因素，影響著處在不同時間、不同地點的群體。在考慮了一般因素以後，應用統計方法決定必需的組群的大小，根據重量、年齡等等選擇動物。並且，在考慮到這些因素的同時，將動物分入各組，而不失隨意選擇樣品的原則。

由於生物特有的變異性，從來沒有兩個動物組或植物組是完全相似的。即便費盡苦心保證兩組中所有的個體在性別、年齡、體重及品種等各方面近於相同，總還是會由於一些迄今尚未為人所知的因素所造成的差異。我們必須體認到，想要獲得完全相同的組群是不可能的。對付這一困難的方法是，估計這種變異性，並在評定實驗結果時加以考慮。在合理的範圍內，最好為實驗選擇彼此差異很小的動物，這個做法的目的是應可以增加實驗的敏感性。但也不必千方百計去做到這一點。因為我們亦可增加組群中個體數量等其它方法來達到這一目的。在一定情況下，可用數學技巧來校正組群之間的差異。

解決實驗用動物差異問題的另一個方法是『配對』，即把彼此酷似的動物一一對(如用一對孿生子或同胎動物)。把每一動物與其『對偶』加以比較。即可獲得一系列的實驗結果。採用一胎雙生的動物，在數量上常常是非常經濟的，當實驗對象是購買價格與飼養費用高昂的動物時，這一點就很重要。紐西蘭進行的乳脂產量實驗表明：每對同胎雙生母牛提供的資料不少於一百一十頭配對母牛所提供的資料。在生長率實驗方面，同胎雙生的小牛比普通小牛的用處要大二十五倍。

在第一次試驗某種實驗步驟時，常常很難事先估計需要多少動物才可以保證得到明確的結果。在使用價格昂貴動物的情況下，可先用少量動物進行試驗，然後重覆這個試驗，直至累積的結果足以滿足統計要求，這種做法也許比較經濟。統計學的一個基本概念是：被觀察的組群中的個體，是一個無限大的假想群體中的一個樣品。我們現在有專門的方法能隨意抽取樣品，並能估計樣品所需具有的廣泛性使其足以代表整體。我們所要求的樣品數量取決於物質的變異性，並取決於實驗結果所能容許的誤差大小，即所要求的精確度。

費歇爾認為：從前，過分強調了實驗時一次只能變化一個因素的重要性。他指出：部署實驗時，同時檢測幾個變數是有顯著好處的。採用適當的數學方法，能使一個實驗同時包括幾個變數。這種做法不僅能夠節省時間和精力，而且比分開處理每個變數能夠提供更多的資料。所以如此，是由於每個因素都從不同情況的角度受到考察，而且可以觀測到各因素間的任何相互作用。實驗上孤立地處理單一因素的傳統方法，常常意味著對該因素的限定有些主觀武斷，並且是在受到限制、過於簡化有條件下進行試驗。但是，動物實驗卻不如植物實驗那樣常用複雜的、多因素的實驗方法，雖然在做幾種不同成分飼料組合的餵養試驗時，採用這種方法很有好處。

當然，同任何其它研究技巧一樣，統計學有其有用之處，也有它的局限性。因此，必須認識它在研究工作中所扮演的地位和作用。其主要價值在於對假設的檢驗，而不在著手進行新發現。新發現的獲得可能是由於考慮到了最細微的暗示，不同組群之間統計數字上最細小的差異，從而想到有可以深入研究的東西；而統計學則往往關係到事先精心安排實驗，用以檢驗一個已經形成的觀念。此外，研究人員決不能為了給統計分析提供足夠的數據，而在觀測及處理實驗細節方面時有所犧牲。

有一點是人們容易忘記的：在解釋實驗結果的時候，要用到常識，而利用統計學並不會減少這樣做的必要性。在處理兩組間存有顯著差異的現場實驗數據時，特別容易產生謬誤。差異並不一定是由已知道的因素所造成，因為可能在某一個實驗裏存有某種變數，其影響及重要程度還未被人認識而已。這不僅是學理上的可能性，從預防結核病、普通感冒和牛乳腺炎的許多接種實驗中出現的差異結果，都可作為例證說明這一點。在接種疫苗的同時，常伴隨有良好的保健措施和其它條件，這些都可能影響實驗的結果。從統計中可以看出：吸煙者的平均壽命不如非吸煙者的平均壽命長，不過，這並不一定說明吸煙就會縮短壽命。因為不吸煙的人可能在一些更重要的方面更加注意自己的健康。在精心設計的實驗中，由於最初是隨意抽取樣品的，因而保證了組群間能正確比較，這時，這樣的謬誤就不會產生。

統計學家對於供他分析的數據，在可靠性和準確度方面，容易估計過高。如果他同時又不是一個生物學家的話，尤其如此。所以，實驗人員應該聲明，測量僅僅是進行到厘米、克或其它某個單位的量級。統計學家能有一些生物實驗方面的親身體驗是對他有幫助的。而且，統計學家應該充分熟悉他所協同的實驗之各個層面。統計學家和生物學家之間的密切合作常使他們能夠運用受過教育的人所具有的常識，而不致陷入一大堆艱深的數據之中。

有時，由於實驗者將其實驗結果僅作為平均數提出，而致使科學報告受到損害。平均數往往提供不了多少資料，而且可能給人錯誤的印象。我們應該提供資料出現次數的分布，並且，與個體有關的數字常常有助於形成一幅完整的畫面。圖解有時也給人錯誤印象，繪製圖解所依據的數據須加以批判地審查。如果圖解上標繪的點不夠密集，也就是說觀測的次數不夠多，那麼，用直線或曲線把這些標繪點連結起來有時是缺乏根據的。這些線段也許並不代表真實位置，因為我們不知道兩點之間究竟出現了什麼情況，例如，很可能出現了意想不到的上升或下降。

### **給人錯誤印象的實驗** *Misleading experiments*

有關在研究工作中運用推理、假設和觀察可能會出現的危險將在本書適當章節加以討論。為了防止對實驗過分信賴的傾向，這裏也應提醒讀者：實驗有時也會給人非常錯誤的印象。出現差錯的最常見原因是技術上的錯誤。實驗人員必須對自己使用的技術極為熟練，否則就不能信賴實驗的結果。即使是出自專家之手的技術方法，也要經常對照已知的『肯定』、『否定』樣本來進行檢驗。除了技術上的疏忽外，還有更難以捉摸的原因使一些實驗『出毛病』。

亨特 (John Hunter) 故意讓自己傳染上淋病，以觀察淋病是不是一種與梅毒有顯著區別的疾病。但不幸他用以接種的物質同時含有梅毒菌，結果，兩種疾病他都傳染上了。從而長時間內形成了一種錯誤的概念：二者都是同一種疾病的表面症狀。尼達姆 (Needham) 用肉湯罐所作的實驗使他自己和別人都相信自然發生是可能的。當時，還沒有足夠的知識來證明這種謬誤究竟是由偶然的污染，還是由於加熱不足未能保證完全消毒而造成。近幾年，我們見到一次顯然是成功的實驗，證明『棒麴黴素 patulin』對於普通感冒有治療效果。統計學上的要求得到了滿足。但是，迄今為止從未有人證明得益於棒麴黴素，而第一次的實驗何以獲得成功至今仍是個謎。

當我看到防止羊群發作肉蠅病的所謂『米爾斯手術』時，我認識到它的重要性。米爾斯的發現所具有的極大的潛力大大地激發了我的想像力。我進行了一次數量達幾千頭羊的實驗，而且，不等結果出來，就勸說研究肉蠅問題的同事們也在別的地方進行實驗。大約一年以後得到結果，手術對我所試驗的羊群完全無效。其他人的試驗，以及所有以後進行的試驗都證明這種手術對羊群具有極有效的保護性。至於我的實驗為何失敗則找不出令人滿意的解釋。所幸的是：我當初對自己的判斷很有信心，所以勸說同事們也在國內其它地方進行試驗。因為，我當時假如更謹慎一些，假如等到結果出來再說，就有可能把這種手術的採用推遲許多年。

美國進行的幾次大規模實驗證明：免疫措施大大降低了一九四三年以及一九四五年流行性感冒的發病率。但在一九四七年，同樣類型的疫苗卻失敗了。後來發現，這次失敗是由於一九四七年的流感病毒菌，不同於前幾年流行的那種，也就是用來製造疫苗的那種病毒菌。

世界上不同地區的科學家，使用近似的生物體卻得出相反的結果，這決不是罕見的現象。這種現象有時可追溯到意想不到的因素，例如，實驗豚鼠對白喉毒素有極為不同的反應，就可追溯到豚鼠飼料的不同。有時，儘管進行了充分的調查研究，仍然無法找出差異的原因：在美國伊頓 (Monroe Eaton) 博士的實驗室裏能使流行性感冒病毒在老鼠中蔓延，而英國安德魯斯 (C.H. Andrewes) 博士的實驗室裏就做不到，即使他使用了同樣品種的老鼠和同樣病毒菌株、同樣的籠子以及完全相似的方法。

我們必須記住：嚴格地說，實驗結果有效，僅僅是對於實驗進行時所擁有的條件而言，在生物學上尤其如此。在必然會受到限制或改變的條件下，所得到的實驗結果究竟有多大的實用範圍，關於這一點，在作實驗結論的時候必須十分小心謹慎。

達爾文有一次半認真地說：『大自然是一有機會就要說謊的。』班克羅夫特 (Wilder Dwight Bancroft) 指出：所有的科學家由親身經歷都知道，使實驗得出正確的結果常常是多麼困難，即使在知道該怎麼做的時候也是如此。因此他說，對於旨在得到資料的實驗，不應過分信任。

上面援引的例子都是一些所得到的結果實際上是『錯誤』的，或是給人錯誤印象的實驗。幸好，這都是個別的例子。然而，更常見的是由於不知道確切的、必要的條件，致使實驗不能證明什麼問題。例如法拉第早期試圖以磁鐵獲得電流實驗就一再失敗。這樣的實驗表明，如眾所周知，證明一再失敗的命題是非常困難的。而且，對

於從這樣的實驗中得出正確結論的愚蠢做法，科學家們往往是能識別的。據說，有些研究機構故意銷毀『一再失敗的實驗』記錄；此外，不予發表那些未能證實所要檢驗的假設之研究結果，是一種很可取的做法。

### **提要** *Summary*

大多數生物實驗的基礎是對照實驗。進行對照實驗時，以隨意抽取樣品的方式將個體編入組群，這些組群除去需要進行研究處理的因素之外，其它各方面都應相同，並考慮到生物體特有的變異性。先進行整體試驗，後進行分部試驗；並按步驟排除各種不影響實驗結果的因素，這是兩項有用的原則。在進行實驗時，密切注意細節，作出詳細的筆記以及客觀解釋實驗結果，都是很重要的。

生物統計學不僅用於實驗結果的解釋，而且用於實驗的部署。生物統計學的一個基本概念是：有一個無限大的假想群體，實驗組群或數據是從中隨意抽取的樣品、應通過對變異性的估計，並在評定實驗結果時將其考慮在內，以克服由於生物體特有的變異性所造成的困難。

如同研究工作所使用的其它方法一樣，實驗並不是萬無一失的。從實驗上不能證明一種假設，並不等於證明這種假設是不正確的。

## 第三章 機遇 Chance

機遇只垂青那些懂得怎樣追求她的人。

- 查理·尼科爾 -

實例·機遇在新發現中的作用·認出機遇的機會·利用機會·提要

### 實例 *Illustration*

讓我們先看幾個機遇在實驗中發揮了作用的實例，這樣再來討論機遇在科學研究中所扮演的角色就容易得多了。這些小故事都有可靠的來源，每個都註明了出處，儘管很多故事是參照了好幾處的材料。本節只收入了十個，而在附錄部分又收入了另外十九個闡明機遇作用的故事。

巴斯德 由於渡假而中斷了對雞霍亂的研究，他在繼續進行研究的時候碰到了一個意想不到的障礙：幾乎所有的培養物都變成了無菌的了。他試圖用再度移植到肉湯中並給家禽注射的方法來復活培養物。這種再度培養物大部分不能生長，而家禽也未受感染。他正想要丟棄一切，從頭開始的時候，突然想到用新鮮培養物給全部的家禽進行第二次接種。他的同事杜克勞 (Duclaux) 寫道：『使大家吃驚的是：幾乎所有這些家禽都受得住這次接種，而先前未經接種的家禽，經過了一般的潛伏期以後，則全部死掉了。這一點甚至連巴斯德自己或許也大吃一驚，他沒有預料到會有這樣的成就。』這導致了我們對減弱病原體免疫法原理的確認。

細菌染色的最重要方法是丹麥內科醫生革蘭 (Haus Christian Joachim Gram) 發明的。他敘述了他在試圖對腎切片顯現雙染色的過程中，是如何偶然發現這種方法的。革蘭 希望把細胞核染成紫色，把細管染成棕色，所以用了龍膽紫，接著又用了碘溶液。他發現，這樣處理過的組織，能用酒精使其迅速褪色，但某種細菌仍保持藍紫色。龍膽紫和碘意想不到地相互作用，並與一種只存在於某種細菌中的物質相互作用。從而，不僅提供了一種很好的染劑，而且提供了一種簡便的試驗法，它在辨認不同的細菌方面證明有極高的價值。

馮梅林 (Baron Joseph Von Mering) 教授和閔可夫斯基 (Oscar Minkowski) 教授一八八九年在斯特拉斯堡研究胰臟在消化過程中的功能時，用手術切除了一個狗的胰臟。過後，一個實驗助手發現這隻狗的尿招來了成群的蒼蠅。他將此事報告了閔可夫斯基。閔可夫斯基分析尿後發現其中有糖。正是這一發現，使我們認識了糖尿病和後來用胰島素控制糖尿病的方法。不久前蘇格蘭人 都恩 (Shaw Dunn) 在研究肢體嚴重壓傷後腎損傷的起因時，嘗試了各種方法，其一是用四氧嘧啶作注射，他發現四氧嘧啶能使胰臟的胰島組織壞死。這一意外的發現給糖尿病的研究提供了極為有用的工具。

法國生理學家里基特 (Charles Richet) 在實驗室以動物試驗海葵觸手的提取

物，以測定其毒素劑量時，突然發現，與第一次相隔一段時間第二次的微小劑量常使動物迅速死亡。起先他對此大為震驚，簡直不能相信這是他自己做出來的結果。確實，他說過，他發現誘導敏感作用或過敏性完全是不知不覺的，他原來認為這是絕對不可能的。

這種過敏現象的另一現象是由戴爾 (Henry Dale) 爵士獨立發現的。他在給豚鼠的幾條不隨意肌注射血清時，突然發現有一條肌肉對馬血清反應特別強烈。在尋找這一特別現象的原因時，他發現這只豚鼠在不久前曾注射過馬血清。對切除的青蛙心臟進行實驗時，生理學家通常使用生理鹽水作為灌注液，用這種方法可使青蛙心臟繼續保持約半小時的跳動。一次，在倫敦大學醫院，一位生理學家發現他的青蛙心臟連續跳動了好幾個小時。他非常驚訝，大惑不解。他能想到的唯一可能原因是季節的影響，而這一點他也確實在報告中提出來了。後來，發現這是由於他的實驗助手在製作鹽水溶液時，用的不是蒸餾水而是自來水，根據這個線索就不難斷定自來水中的那些鹽份引起了生理活動的增加。林格 (Sidney Ringer) 就是這樣發現了這種以他命名的溶液。這種溶液對實驗生理學的貢獻頗大。

德拉姆 (H. E. Durham) 博士記述了通過抗血清發現細菌凝集的經過如下：『那是一八九四年十一月的一個值得紀念的早晨，我們都準備好了要用法伊弗 (Pfeiffer) 提供給我們的培毒液和血清去檢驗他做的活體內診斷反應。格魯伯 (Gruber) 教授對我喊道：『德拉姆，這兒來，你瞧！』用血清和弧菌的合劑進行第一次注射前，他取了樣品放在顯微鏡下，看到了凝集。幾天以後，我們要用消毒過的小玻璃罐製作合劑時，正巧小玻璃罐都沒有消毒，所以我只好用消毒試管。放有培養液和血清混合物的試管插在那裏片刻以後我喊道：『教授先生。這兒來，瞧！』出現在他眼前的是沉積現象；就這樣，我們得到了兩種可用的方法：微觀的和鉅觀的。』這一發現出人意外，事先沒有提出過假說，這是在另一研究工作的過程中偶然發生的。由於偶然找不到消毒玻璃罐，發現了鉅觀的凝集現象。(承蒙迪安 H. R. Dean 教授示我以德拉姆的手稿)

霍普金斯 (Gowland Hopkins) 被很多人看作是生物化學之父。他讓他的實習班學生進行一項眾所周知的蛋白質試驗作為練習，但是所有的學生都不得不出反應。研究證實：只有使用一種含有雜質的醋酸，即二羥醋酸時，才能得到反應。這種醋酸以後就成為標準的試驗試劑。霍普金斯根據這個線索進一步研究，找出了蛋白質中與三羥醋酸相互作用的基。這導致他作出了著名的色胺酸離析。

一九一五年韋爾 (Weil) 和費利克斯 (Felix) 在波蘭研究虱子傳染的斑疹傷寒病例。他們從一些病人身上分離出一種稱之為『變形杆菌 X』的細菌。他們認為這可能就是疾病的起因。於是，用病人的血清作這種細菌的凝集試驗，得到了陽性的結果。以後發現『變形杆菌 X』並不是這種疾病的致病微生物；然而，用這種微生物做凝集反應，卻是診斷斑疹傷寒的一種可靠而又特別可貴的方法。在作這種血清反應的實驗研究中，韋爾和費利克斯確定了 O 和 H 的抗原及抗體。這一發現又為血清學寫下了嶄新的篇章。以後，又發現在馬來亞灌木叢中傳染的斑疹傷寒對『變形杆菌 X<sub>19</sub>』不起凝集作用。奇怪的是，在英國獲得的一種變形杆菌的新菌株，據信是變形杆菌 X<sub>19</sub> 的典型菌株，則與叢林斑疹傷寒病人的血清凝集，而不與城裏傳染 (都市斑疹傷寒) 的病人

血清凝集。這種都市斑疹傷寒病人血清卻令人滿意地與世界上很多地方使用的變形杆菌菌株起作用。以後證實：叢林斑疹傷寒和都市斑疹傷寒是兩種不同的立克次體病。英國送來的變形杆菌不但不是典型的變形杆菌 X<sub>19</sub>，而且其結果正好變成能夠診斷出另一種疾病，這究竟是怎麼回事，至今仍是個大謎。

流行性感冒病毒能使小雞紅血球凝集，這一現象是赫斯特 (G.H. Hirst) 第一個意外觀察到的。麥克萊蘭 (L. McClelland) 和 黑爾 (R. Hare) 在檢驗受病毒感染的雞胚胎時也獨立作出了這一發現，紅血球與含有病毒的液體混合時凝集起來了，敏銳而又善於觀察的科學家迅速跟蹤這一線索。這一現象的發現不僅革新了我們有關幾種病毒的技術，而且對於病毒與細胞二者關係，這些根本性問題開創了研究的方法。繼此發現以後，很多研究人員用其它的病毒試驗血液凝集，發現紐卡斯爾疾病 (Newcastle) [譯註：家禽或其它鳥類的急性病毒性疾病，病症是肺炎和腦脊髓炎]、雞瘟和牛痘都能引起這種現象。然而，又是由於偶然觀察，發現腮腺炎病毒能引起血液凝集。以後又發現鼠肺炎的病毒也能引起這種現象。

立克次體微生物 (一種與病毒很接近的微生物) 引起斑疹傷寒及其它幾種重要疾病，而且難以培養。科克斯 (Herald Cox) 博士花了很多時間和精力去改進這種微生物在組織培養中生長的方法，曾經試圖加進各種提液、維生素和激素，但都沒有收效。有一天，在作試驗準備時，用作組織培養的雞胚胎組織不夠了，為了湊足數量，他使用了在以前同別人一樣地扔掉了的蛋黃囊。以後在檢查這些培養物時，他『又驚又喜』地發現：在偶然放進了蛋黃囊的那些試管中，產生了大量的有機體。幾天以後，他晚上躺在床上時突然想到，把立克次體微生物直接接種到含胚胎卵的蛋黃囊中。他早上四點起床直奔實驗室，第一次射立克次體微生物注射到蛋黃囊中，就這樣發現了大量生長立克次體微生物的簡便方法。這種方法革新了由它們引起的多種疾病的研究，並使得預防這些疾病的有效疫苗的生產成為可能。 [私人通信]。

### 機遇在新發現中的作用 *Role of chance in discoveries*

上述十個例子，加上收入在附錄中的十九個例子，以及第四章和第八章中的一些例子，生動地說明了機遇在新發現中的重要作用。當我們想到研究工作通常遭到的失敗和挫折時，這些例子就顯得更加突出。也許絕大部分生物學和醫學上的新發現都是意外獲得的，或至少含有機遇的成分，特別是那些最重要的和最革命性的發現。對於真正開闢了新天地的科學發現，人們很難預測到，因為這種發現常常與當時的思潮不相符合 (甚至互相矛盾)。我常常聽到我的同事在談及某個新發現時，帶有幾分歉意地說：『我是偶然碰上的。』雖然大家公認機遇有時是獲得新發現的一個因素；但是，其意義之重要很少為人們意識到，其作用之巨大似乎亦未被人充分理解和領會。有關科學方法的著作，根本不提新發現中的機遇或經驗論。

經驗主義的發現中最引人注目的例子，也許在化學療法方面。在這方面，幾乎所有偉大的發現，都是從一個未經證實的假設或所謂機遇觀察出發而獲得的。我在本書其它章節中描述了奎寧、六〇六 (洒爾佛散)、磺胺、對氨基苯甲酸及青黴素醫療作

用發現的經過。在每一種情況下，隨後所做的理論性研究，相對地說，僅帶來了很小的益處。當想到化學治療方面所進行的理論性研究是大量的，上述這些事實就更加令人感到驚奇。

認識了機遇在獲得新發現中的重要作用，研究人員應該對此加以利用，而不應把它看作一件怪事而忽略掉，或者更糟的是，看成有損發現者的聲譽從而不予考慮。雖然我們無法刻意製造這種捉摸不定的機遇，但我們可以對之提高警覺，作好準備，一俟機遇出現，就抓住它。從中得益。僅僅意識到機遇的重要作用，對初做研究工作的人就可能有所幫助。我們要訓練自己的觀察能力，培養經常注意預料之外的事情之精神，並養成檢查機遇提供的每一條線索的習慣。新發現是透過對最細小線索的注意而獲得的。科學家所一致要求的嚴格邏輯思想方法，應留待於研究工作的求證階段。研究工作中，獲得新發現所需要的思想方法，不同於求證所需要的思想方法，因為發現和求證是不同的過程。我們不應把全付心思放在我們的假設上，以致錯過或忽視了與之無直接關係的其他東西：考慮到這一點，貝爾納堅持主張：儘管假設在實驗的部署中十分重要，但是，一旦實驗開始，觀察者就應該忘卻他的假設。他說，過分喜愛自己的假設的人是不適於找到新發現的。（[第八章](#)中敘述的）關於貝爾納從觀察兔子排出清尿出發進行研究工作的小故事，就是一個包含了機遇、觀察和有備而來的頭腦，從而作出新發現的出色例證。

『留意意外之事』是研究工作者的座右銘。

談論研究工作的運氣不是明智之舉，因為這樣做可能擾亂我們的思想。用運氣這個詞來僅僅表示機遇，是無可厚非的。但是在很多人看來，運氣是個形而上學的概念，神秘地影響了事件的發生，這樣的概念是不容許進入科學思維的。機遇也不是獲得意外發現的唯一因素，這一點我們在下節裏要詳細討論。在上述的小故事中，如若研究人員不是留神注意任何可能發生的事情，許多機會很可能就被忽略過去。一個成功的科學家對機遇所提供的每一意外事件或觀測現象予以注意，並對那些在他看來大有潛力的事件進行研究。在這一方面，亨利·戴爾爵士關於機會主義說得很好。不具發現才能的科學家往往不會去注意或考慮那些意外之事，因而在不知不覺中放過了偶然的機會。格雷格 (Alan Gregg) 寫道：『人們有時候會猜想：對大自然極為細微的反常行動能十分注意，並從中得益，這種罕見的才能是否就是最優秀研究頭腦的奧秘，是否就是為什麼有些人能出色地利用表面上微不足道的偶然事件，而取得顯著成果的奧秘。這種注意力的背後，則是始終不懈的敏感性。』達爾文的兒子在談到達爾文時寫道：『當一種例外情況非常引人注目並屢次出現時，人人都會注意到它。但是，他〔指達爾文 - 譯者〕卻具有一種捕捉例外情況的特殊天性。很多人在遇到表面上微不足道又與當前的研究沒有關係的事情時，幾乎不自覺地，以一種未經認真考慮的解釋將它忽略過去，這種解釋其實算不上什麼解釋。正是這些事情，他抓住了，並以此作為起點。』

明確認識機遇的作用是極其重要的。發現的歷史過程表明，機遇具有重要的作用，但另一方面，即使在那些因機遇而成功的發現中，機遇也僅僅具有一部分的作用而已。由於這個原因，把意外的發現稱之為『機遇發現』或『偶然發現』並不完全正確，容易造成誤解。如果完全是偶然靠機遇獲得這些發現，那麼，剛剛涉足研究工作

且沒有經驗的科學研究人員，就可能會做出同貝爾納或巴斯德一樣多的這類發現了。巴斯德的名言道出了專情的真諦：『在觀察的領域中，機遇只偏愛那種有備而來的頭腦。』真正起作用的是對機遇觀察的解釋。機遇只提供機會的作用，必須由科學家去認出機會，抓住不放，才能具有效用。

### 認出機遇的機會 *Recognising chance opportunities*

一些簡單的、貌似容易的觀察導致了偉大而深刻的發現，使科學家因此成名。在閱讀科學史上的發現時，這類觀察有時會給人深刻的印象。但是，在回顧的時候，我們看到的新發現已經有了眾所公認的重要意義。最初，這種發現通常並不具有內在價值；發現者把這個發現和其它知識聯繫起來，或許利用它推衍出新的知識，從而賦予這個發現重要的意義。在涉及機遇的新發現過程中，存在著的一些困難可按下列小標題加以討論。

#### (1) 機會稀少

以重要線索的型態出現的機會並不多見。唯有在這個方面，完全是機遇所引起的作用。但即使這樣，科學家也並不是純粹被動的。成功的研究人員是長時間在工作臺旁工作的科學家，他們不把自己的研究活動局限於傳統的步驟，而是去嘗試新奇的步驟，因而他們遭遇幸運『事故』光臨的可能性就更大。

#### (2) 注意線索

要注意到線索，往往必須具有敏銳的觀察能力，特別是在觀察所預期事物的時候，保持對意外事物警覺性和敏感性的那種能力。在『觀察』一章中要詳盡討論關於注意的問題，在這裏只需說明它主要是個思維的過程。

#### (3) 解釋線索

解釋線索，並抓住其可能具有的重要意義是最困難的一件事，只有『有準備的頭腦』才能做到。讓我們來看幾個未能抓住機會的例子。在科學研究史上，錯過機會的例子，也即是雖注意到線索但未能認識其重要性的例子，簡直不勝枚舉。在倫琴 (Rontgen) 發現 X 射線之前，至少已經有另一個物理學家注意到這種射線的存在，但他只是感到氣惱而已。現在，好幾個人都回憶起，在弗萊明 (Alexander Fleming) 深入研究進而發現青黴素以前，他們就曾經注意到用黴菌抑制葡萄球菌菌落的現象。例如，斯科特 (Scott) 報導說他就見到過這種現象，但是僅只感到討厭。他反對那種認為弗萊明的發現是得力於機遇的觀點，因為，他說，獲得新發現主要是由於弗萊明具有敏銳的判斷力，能夠抓住別人放過的機會。愛德華茲 (J.T. Edwards) 也有一件有趣的事。一九一九年他注意到有一組流產布魯氏菌的培養物比其它組繁殖得更為茂盛，而且上面沾染了黴菌。他請麥克法迪恩 (John M'Fadyean) 爵士來看，提出這種現象可能有重要意義，卻被麥氏嗤之以鼻。直到後來才發現流產布魯氏菌在有二氧化碳存在的情況下繁殖得更好，這就解釋了為什麼愛德華茲的培養物生了黴菌就繁殖得更好。博迪特 (Budet) 等人都曾無意中注意到抗血清使細菌凝集，但只有格魯伯和德拉姆才認識到其潛在的重要意

義。同樣，在托特 (F.W. Twort) 和德愛萊爾 (F.H. d'Herelle) 之前就有很多人看到過噬菌體溶解現象。之前就有很多人看到過噬菌體溶解現象。伯內特現在就承認曾見到雞胚胎紅血球遇到流行性感冒病毒時會有凝集的現象；可能還有別人也見到過。但只有赫斯特、麥克里蘭和黑爾才抓住線索進行追蹤。很多細菌學家都在各處見到過細菌菌落變異，但只有阿克賴特 (Arkwright) 進行了研究，發現變異與病毒性和抗原性的變化有聯繫。當然，現在這已成為免疫學和血清學中的一項基本事實。

有時，機遇帶給我們線索的重要性十分明顯，但有時只是微不足道的小事，只有很有造詣的人，其思想滿載著有關知識並已發展成熟，才能看到這些小事的意義所在。當頭腦中充斥著一大堆相關的但尚未緊密聯繫起來的資料，或一大堆模糊概念的時候，一件小事可能有助於形成某種清晰的概念，而將資料聯繫起來。這恰像落下的蘋果為牛頓的想法提供了雛型。蘇特 (Henry Souttar) 爵士指出：正是由於觀察者的大腦是多年工作積累而成的，它使得那勝利的瞬間能夠到來。關於機遇觀察的特性，還要在觀察和直覺的章節中進一步討論。

任何思想敏銳的人，在研究的過程中都會遇到無數有趣的附帶問題，可以進一步研究下去。對這些問題全部加以研究，在體力上是辦不到的。大部分是不值得研究下去的；只有少部份的問題值得繼續研究下去；偶而會出現一次百年難逢的良機。如何辨別有價值的線索，是研究藝術的精華所在。具有獨立思考能力，而不受現階段思潮左右之科學家，最有可能發現突發現象的潛在意義。他也需要具有想像力和豐富的知識，來了解自己的四周是不是有新的事件，來看自己的觀察可能有那些含義。在決定是否應該進行某一方面的研究時，不應僅僅由於別人已經考慮過，或者甚至已經做過而無成果，就予以放棄。這並不一定說明這個想法不好；很多具有時代意義的發現先前都被提出過，只是未能繼續的發展研究，但直到適逢其人才得以正確地開展。詹納 (Edward Jenner) 並不是第一個給人種牛痘以預防天花的人。哈維 (William Harvey) 不是第一個提出血液循環假設的人。達爾文絕非第一個提出進化論的人。哥倫布也不是第一個到美洲去的歐洲人。巴斯德不是第一個提出疾病的細菌學說的人。利斯特 (Joseph Lister) 不是第一個用石炭酸作為傷口消毒劑的人。但正是這些人，充分發展了這些想法，迫使社會勉勉強強地接受了它們，因此，使這些發現得以成功的主要功勞應歸於他們。使發現得以成功的還不僅是新想法。其實，完全獨創的想法是很少的。通常，深入研究某一想法的起源以後，人們發現，這個想法別人先前已經提出過了，或是提出過近似的想法。尼科爾把這些早期的，一開始未予以深入研究的想法稱之為『想法的先驅』。

### 利用機會 *Exploiting opportunities*

當一個新發現經過了上述的障礙，創始者終於能認識並理解它，但至少還有三種情況會延誤人們及早接受這個發現。

#### (4) 不能根據最初的發現做深入研究

最初的發現有時可能未被充分利用，因為科學家可能未對新發現深入追究，未能對其

加以開拓。最有成就的科學家不會只滿足於澄清手邊的問題，而是在取得了某些新知識以後，利用它去揭示更新的知識，而且往往能尋獲更具重要意義的知識。斯坦豪塞 (Steinhaeuser) 一八四〇年發現魚肝油能治佝僂病，但是在以後的八十年中，這個極為重要的事實始終未經證實，因而至今仍然只是一個看法而已。一九〇三年史密斯發現：培養液中的能動桿菌能以正常的運動形式存在，也能以不能動的變異體存在。他還說明了這兩種形式在免疫反應中的重要性。這一研究幾乎沒有被人注意。而且被人遺忘，直到韋爾和費利克斯一九一七年重新發現這一現象為止。這一現象現在被看作是免疫反應中的一個基本事實。弗萊明在一九二九年就描述了青黴素的粗製劑，但是幾年以後他中斷了這一工作，沒有製造出一種治療用的藥物，他沒有得到別人的鼓勵和幫助，因為像這類一無所成的事情人們知道得太多了。直到若干年以後，弗洛里 (Howard Walter Florey) 繼續弗萊明的未成之業，才把青黴素發展成一種藥物。

#### (5) 缺乏應用

新發現可以在若干年內沒有用武之地。諾非爾德 (Neufeld) 在一九〇二年發現了一種測定肺炎雙球菌菌型的快速方法，但是直到一九三一年採用特異型血清療法以前，這種方法根本不具重要意義。蘭斯坦納 (Karl Landsteiner) 一九〇一年發現人類的血型分類，但是直到一九一四至一九一八年大戰期間發現了抗凝血劑並採用了輸血的方法時，蘭斯坦納的發現才變得重要，並引起人們注意。

#### (6) 冷淡和反對

最後，新發現必定會受到人們懷疑，與反對態度的嚴厲批評，這可能是最難過的一關。也正是由於此，科學家有時必須進行辯護戰；在過去，有的甚至要付出生命。對新觀念的抵制心理，以及現實生活中對新發現的反對，將在以後的章節中討論。

下面，我們集中敘述一下詹納對牛痘接種法的認識以及他使用牛痘接種的經過，來說明本節和上節中的某些觀點。接種天花病毒（種痘）進行人工免疫天花的方法在東方早已施行。有人說公元前一千年中國就有將天花疤漿吹入兒童鼻孔的習俗，也有人說種痘是公元一千年從印度傳入中國的。十八世紀中葉種痘由君士坦丁堡傳入英國。在詹納出生的時候，這種方法雖然尚不普遍，但已被採用。詹納十三歲到十八歲當學徒期間，注意到格羅斯特郡的當地人相信從牲畜身上感染過牛痘的人則對天花免疫。詹納發現，當地的醫生大多都熟知這種傳統的看法，但卻未予以認真的思考，儘管他們也碰到這樣的情況：得過牛痘的人在接種天花病毒時不受感染。顯然詹納記住了這件事，但在若干年中沒有什麼行動。回到鄉村行醫以後，他對一個朋友吐露心意，說想試一試牛痘接種法；促請朋友將他的意圖保密，因為怕萬一失敗而招人恥笑。同時，他進行其它方面的實驗，來鍛鍊自己勤奮刻苦、精確觀察的才能。他為亨特觀察冬眠動物的體溫和消化；為班克斯 (Joseph Banks) 試驗農業肥料；自己還研究小布谷鳥怎樣把同窩的雛鳥趕跑。他三十八歲結婚，生下兒子後，他給兒子接種牛痘，並證明了這個孩子後來對天花免疫。然而，沒有一個同事（包括亨特在內）對詹納用牛痘接種防止天花的想法有太大的興趣。他有關這個題目的第一篇試驗性論文被退了回來，顯然是被拒絕採用。直到他四十七歲的時候（在值得紀念的一七九六年），才第一次成

功地為許多人接種了牛痘。他從一個擠奶女工內爾姆斯 (Sarah Nelmes) 手上的膿疤中取出物質，給一個八歲的男孩菲普斯 (James Phipps) 接種，這個男孩因此出了名，就像在將近一百年後邁斯特 (Joseph Meister) 是第一個接受巴斯德狂犬症治療而奇怪地出了名一樣 [註：邁斯特一直在巴斯德研究所看門，直到一九四〇年德國占領巴黎，邁斯特自殺]。人們認為這就是傳統所說牛痘接種的起源。但是，正如科學發明史上的很多情況一樣，問題並不這麼簡單、明確。至少有兩個人在更早的時候就實際施行過這種手術，但未能繼續進行下去。詹納卻繼續實驗，於一七九八年出版他著名的『探究』，其中報告了約二十三個或因接種牛痘，或因自然感染牛痘，從而對天花免疫的病例。在這以後不久，牛痘接種便得到普遍採用並在全世界推廣，儘管某些地方至今還有人在古怪的強烈反對，倒是無傷大雅。詹納曾遭到辱罵，但很快就受到來自全世界的讚譽。

這段歷史確實表明了：認識一件新事物的真實意義往往是多麼的困難。如不了解歷史真相，人們可能以為詹納對醫學科學作出了一個很簡單的貢獻，不值得後來如此大加讚譽。但無論是亨特也好，還是詹納的任何同事和同時代人也好，沒有一個能預先透徹理解其潛在的重要性。然而在別的國家，也出現過類似的機會，但卻被忽略過去了。自從這位具有實驗頭腦的詹納對流行的看法發生興趣，到進行具有時代意義、關鍵意義的實驗，其中相隔了三十年。我們現在有了免疫和實驗的觀念，可能會對此覺得奇怪；但我們必須記住，這一想法在當時是多麼具有革命性，即使當時已經採用了種痘。別人雖有同樣的機會，但卻沒有人研究牛痘接種法；詹納花了整整三十年時間才研究成功。這一事實表明：這是一個多麼來之不易的成果。而且牲畜在當時為大多數人所嫌棄，因此，以牲畜的疾病來感染人類，這種想法令人更為厭惡。人們預言了各種可怕的後果；什麼『牛狂症』、『牛面孩』（還真的展出了一個）。同許多偉大的發現一樣，這個發現並不需要廣博的學識，主要是憑借膽識來接受一個革命的想法，並憑借想像來認識其潛在的重要意義。但是，詹納也有要克服的實際困難。他發現母牛乳頭易患各種瘡傷，有些也傳染給擠奶工，但卻沒有對天花免疫的效能。即使在今天，病毒專家要區分牛乳頭各種瘡傷也是很不容易的；而且由於要觀察到下述現象，情況就變得更加複雜，即患過牛痘的牛不能因此免疫而不第二次發作同樣的疾病，這一點詹納本人也注意到了。

詹納的發現含有嘲諷的成分，這種成分常使得科學界的軼事平添興味。當代研究者們相信：現在多年來在世界各地使用的牛痘疫苗並不是牛痘，而是由天花衍生而來的。其起源已無從查考，但看來牛痘和天花在早期就被混雜了，發展成了一種天花的減毒菌種而被錯誤地當作牛痘使用。

## 提要 Summary

新知識常常起源於研究過程中某種意外的觀察或機遇現象。這一因素在新發現中的重要意義應得到充分的認識；研究人員應該有意識地去利用它。積極、勤勉，嘗試新步驟的研究人員遇到這種機會的次數更多。要能解釋線索，並認識其可能的重要意義，就需要有不受固定觀念束縛的精神，要有想像力、科學鑑賞力以及對一切未經解釋的觀察現象進行思考的習慣。

## 第四章 假設 Hypothesis

科學上，想法的主要職責與其說是『真實』，不如說是有用又有趣。

- 威爾弗雷德·特羅特 -

實例·假設在研究中的運用·運用假設須知·提要

### 實例 *Illustration*

我們先來看幾個起源於假設 (hypothesis) 的新發現。以便更好地討論假設在科學研究中的作用。說明這類發現的一個最好例證就是哥倫布 (Christopher Columbus) 航行的故事，它具有科學上第一流發現者的很多特徵。(1) 哥倫布全神考慮著一個想法：既然世界是圓的，他就能向西航行到達東方。(2) 這個想法絕非他的首創，但顯然他曾從一個水手那裏獲得了新的佐證，此人被大風刮離了航道，據他自己說，他在西方重登陸地，然後返航。(3) 他好不容易才得到資助，得以檢驗自己的想法，而且，在進行實驗性航行的實際過程中也歷盡了艱辛。(4) 最後成功的時候，他找到的不是預期的新航線，而是整整一個新大陸。(5) 任憑一切佐證對他不和，他仍然死死抱住自己的假設不放，並相信自己是找到了通往東方的航線。(6) 他生前所獲讚譽和酬報甚少，不論他自己或是別人都未充分認識他新發現的意義。(7) 以後曾有證據說明，他決不是到達美洲的第一個歐洲人。

羅夫勒 (Friedrich Löffler) 在研究白喉的早期，證明了實驗動物因注射白喉桿菌而死亡時，細菌仍留在注射點的附近。他認為動物死亡是由細菌的毒素所造成。根據這一假設，魯 (Emile Roux) 做了大量實驗，企圖證實細菌培養液中的這種毒素是致命的物質，雖做了很多努力，卻都失敗了。儘管如此，魯仍堅信這一假說，最後孤注一擲，給豚鼠注射了 35 毫升的大劑量培養液濾液。奇怪的是，這隻豚鼠在注射了如此大量的液體後居然沒死。過了一些時候，他滿意地看到這隻豚鼠死於白喉中毒。確認了這點以後，魯很快就查明，他的困難是因培養液中細菌培養時間不夠，從而產生毒素不足所致。因而，增加細菌培養的時間就能製成毒性很大的濾液，這一發現導致了預防白喉的免疫法，並使抗血清用於治療。

貝爾納 根據衝動沿交感神經傳導並引起化學變化，從而在皮膚中生熱的假設，切斷了家兔頸部的交感神經，希望導致兔耳變涼。使他吃驚的是：該側的耳朵卻變成得更熱了。貝爾納才發現他將耳血管與通常使耳血管保持適當收縮的神經作用切斷了，結果血液流量增大，耳朵變得更熱。貝爾納起初並沒有認識到自己的所作所為。他完全偶然地發現了動脈中的血流量是由神經控制這一事實，這是自哈維劃時代的發現以後，對血液循環認識最重要的進展之一。貝爾納說，自一八四一年以來，他多次切斷頸部交感神經，卻沒有觀察到一八五一年他首次見到的那些現象。這有趣而又重要地說明了觀察領域中經常出現的情況。在以前的實驗中，貝爾納把注意力放在瞳孔

上，直到他注意尋找面部和耳部的情況時才發現了這些變化。

貝爾納推斷說：肝臟分泌糖分是由有關神經控制的，他猜想這就是迷走神經。因此，他試著穿刺第四腦室底該神經的起端，結果發現肝臟糖原作用顯著增加，血糖增多以致於尿中出現糖分。然而，貝爾納很快就意識到，儘管得到的結果很有趣、很重要，但是，實驗所依據的假設卻是十分錯誤的，因為即便切斷迷走神經，還是能夠得到同樣的效果。貝爾納再一次顯示了他放棄原有推斷，追蹤新線索的能力。他在敘述這次經過時寫道：『對於我們正在研究的想法絕不應過於全神貫注。』這一項研究從另一角度來看也是很有教益的。貝爾納第一次成功地穿刺第四腦室造成糖尿病以後，無法再現這次實驗，直至找到必需的精確方法時才成功。他第一次取得成功確實是很幸運的，否則在接二連三的失敗以後他可能會放棄這一想法。『我們希望從這次實驗中得出另一個具有普遍意義的結論 ... 單獨地看待否定的事實決不能說明任何問題。人們必定犯了，現在也必定還在犯多少這樣的錯誤啊！絕對避免這類錯誤看來甚至是不可能的。』

直到上世紀末，人們對稱之為『產乳熱』這種乳牛疾病的性質和原因仍然一無所知。沒有有效的治療方法；很多寶貴的乳牛因此死亡。丹麥 科爾丁 (Kolding) 地方，一個名叫 施密特 (Schmidt) 的獸醫提出一種假設：這種疾病是一種自身中毒現象，由乳腺中『初乳小體和變性的舊上皮細胞』的吸收作用所造成。因此，抱著『制止初乳形成以及麻痺現存毒素』的目的，施密特為牛乳腺注射碘化鉀溶液。起初，他說在手術過程中小量空氣進入乳腺是有益的，因為能幫助游離碘釋出。這種治療方法非常成功。後來，施密特把在注射溶液的同時注進大量空氣看作是這種治療的重要組成部分，理由是空氣能把溶液推到乳腺各部。這種療法被廣泛採用，並以多種方式加以改良，不久以後，人們發現只注入空氣也同樣有效。在闡明產乳熱的生化過程之前二十五年，這種以錯誤想法為依據的治療方法就已普遍採用；確實，我們至今仍不明瞭該疾病的基本原因，也不知道為什麼注入空氣通常就能治愈它。

假設之所以能頗其成效，不僅對其提出者是如此，而且還可能使別人作進一步發展。沃塞曼 (Wassermann) 本人證實：他用補體結合試驗法檢查梅毒這一發現僅是由於有埃利希的『側鏈學說』才得以成功。沃塞曼檢查法的發展還有另一個有趣的事情。由於得不到產生梅毒的螺旋體培養物，沃塞曼採用由梅毒造成之死胎的肝臟提取物作為抗原，他知道這種抗原中含有大量螺旋體。這一方法十分成功。過後很久才發現，不僅不必採用有梅毒的肝臟，而且從其它動物的正常器官也能製造出相同的抗原。至於這種抗原為什麼能產生補體結合反應以診斷梅毒症狀，至今仍是個謎。只有一點是肯定的：完全是偶然的想法促使了沃塞曼使用肝臟提取物。但是，既然我們至今仍找不出合理的解釋，若不是多虧了沃塞曼錯誤的、但富有成效的想法，很可能我們現在還沒有梅毒的血清檢查法。

埃利希的想法奠定了化學療法的基礎。他的想法是：由於某些染劑能有選擇地給細菌和原生動物染色，所以就有可能找到某種只能被寄生蟲所吸收的物質，而且可殺死寄生蟲而不損傷宿主。他對自己的想法堅信不移，儘管長期不斷受挫，一再失敗，朋友們也勸他放棄這種看來無望的工作，他還是堅持下去，直到發現錐蟲紅具有某種

抵抗原生動物的能力，才獲成功。順著這一成果提示的方向進一步研究下去。埃利希後來製成了六〇六，對梅毒很有療效，是砷的第六百零六種化合物。這或許是疾病研究史上，假設的信心終於戰勝了看來似乎是不可克服的困難的最好例子。故事講到這裏本可皆大歡喜，但是，正如常常發生的那樣，在科學上，最後的評語必定是具有諷刺意味的。埃利希搜尋某種有選擇性地被病原體吸收的物質，是由於受到自己堅定信念的鼓舞。他堅信，藥物只有附著在有機體上才能起作用；但是我們今天知道很多具有化學療效的藥物，並不是有選擇性地附著在傳染原上的。

然而，故事還沒有講完。埃利希早期的工作給了杜馬克 (Gerhard Domagk) 深刻的印象。埃利希的錐蟲紅屬於偶氮染劑組，杜馬克試驗了大量屬於該組染劑的效能。一九三二年他發現一種屬於該系的染劑 - 百浪多息，它對鏈球菌具有療效，而且不損傷受感染的動物。這一發現標誌著醫藥史上新紀元的開端。但是，當法國化學家特雷弗 (Trefouel) 著手研究合成這種藥物時，他驚訝地發現，藥物之所以有效並非由於它是染劑，而是由於包含了磺胺，而磺胺則根本不是染劑。這樣，又一次埃利希錯誤的想法導致了可稱之為奇蹟的發現。化學家們從一九〇八年以來就知道磺胺的存在，但誰也沒有任何根據來猜測它有治療的性能。有人說，如果當初知道這種性能，那麼僅在一九一四至一九一八年大戰期間，磺胺就可拯救七十五萬條命。據說，埃利希早期對染劑的研究還是導致發現現代抗瘧藥物『阿滌平』的起點，沒有這種藥，盟軍在太平洋的戰爭可能就不會勝利。

聯醌是另一種根據假設而發現的化學治療物，用來殺死引起黑熱病的利什曼原蟲。研究開始時的想法，是用某種胰島素衍生物干預寄生蟲的自然代謝過程，特別是其葡萄糖的代謝。人們發現有一種胰島素衍生物『合成靈』具有殺死利什曼原蟲的特效，不過其稀釋程度之高是絕不可能影響葡萄糖代謝的。這樣，儘管假設是錯誤的，卻導致了一組新的有用藥物的發現。

在大不列顛和澳大利亞西部某些地方出現一種羊群的神經性疾病，叫做羊缺銅病，原因多年不明。在澳洲西部，根據某種理由，貝內茨 (H. W. Bennetts) 懷疑該病是由鉛中毒所致。為了證實這種假設，他用鉛的抗毒劑氯化鉍來治療羊群。第一次試驗效果很好，但是後來的試驗卻不成功。這使人們想到該疾病是由於缺少某種礦物質所致，而這種礦物質可能少量存在於第一次使用的氯化鉍中。貝內茨根據這個線索進一步研究，很快就證實該疾病是由缺銅所致，而過去並不知道有因缺銅引起牲畜疾病的先例。貝內茨自己說：『澳洲西部病原問題的解決，是在證實錯誤假設時偶然出現的線索所致。』

### 假設在研究中的運用 *Use of hypothesis in research*

假設是研究工作者最重要的思想方法，其主要作用是提出新實驗或新觀測。確實，絕大多數的實驗以及許許多多的觀測，都是以驗證假設為目的來進行的。假設的另一作用是幫助人們看清一個事物或事件的重要意義，若無假設則這一事物或事件就不足以說明問題。例如，在進行現場考察時，一個採用進化論假設的人，就比沒有這種假設

的人能夠作出許多更為重要的觀察。假設應該作為工具來揭示新的事宜，而不應將其視為終結的目的。

上面提出的實例說明了假設導致新發現的某些途徑。首先引人注意的是這樣一個奇怪而又有趣的事實：一個不正確的假設有時非常富有成效，這一點培根也注意到了。有些實例是我們挑選出來以便說明這一觀點的，但我們不應認為這些就是有真正代表性的實例，因為正確的猜測比錯誤的猜測更容易收到成效；而且，錯誤的猜測有時候也會有用處這一事實，並不能減損力求正確解釋的重要性。然而，這些實例是現實的，因為絕大多數的假設後來被證明是錯誤的。

當第一次實驗或第一組觀測的結果符合預期結果時，實驗人員通常還需進一步從實驗上搜尋證明，方能確信自己的想法。即使假設被一些實驗所證實，它也只能被看作在進行實驗的特定條件下才是正確的。有時，研究人員所要求的或需要的就是這點，因為眼下他已經有了一個解決眼前問題的辦法，或有了一個為某種理論所需要的假設，以便為進一步研究該問題進行部署。有時，假設的價值在於，以該假設為基點將研究工作的新方向朝四面八方鋪展，而且，把這種假設盡可能地應用於各種具體情況。如果假設適用於各種情況，則可上升到理論範疇；如果深度夠，甚至可上升為『定律』。然而，具有普遍性的假設卻不能被絕對的證實，這一點將在有關『推理』一章中加以說明；但是，在實驗中，如果假設能經得起關鍵性的檢驗，特別是，如果這種假設符合一般科學理論的話，它就會被接受。

當第一次實驗或觀測的結果不能證實假設時，有時用一種能起澄清作用的輔助假設 (auxiliary hypothesis) 來適應矛盾的事實，而不是一股腦地拋棄原來的假設。這種修正的過程可一直進行下去，直至主要假設附加了一大堆特設條件。是否需要達到這一步，是個人的判斷力和鑑賞力的問題。到此，大廈方始傾倒，而代之以另一座大廈，它更合理地綜合了現今可以獲得的一切事實。

有句有趣的俗話：『除了它的創始人，誰也不相信假設；除了實驗者，人人都相信實驗。』對於以實驗為根據的東西，多數人都樂於信賴，唯有實驗者知道許多在實驗中可能出錯的小事。因此，一件新事實的發現者往往不像別人那樣相信它。另一方面，人們通常總是非難挑別一個假設，而其提出者卻支持它，往往為之獻身。我們在批評別人的建議時也應牢記這點，因為鄙棄他的意見就可能傷害他、打擊他。假設是一件個人性質很強的事情，由此可以得出一個結論：科學家研究自己的想法，通常比研究別人的想法效果更好。當想法被證明是正確的時候，即使實驗並非親自做的，提出者不但獲得了個人的滿足，又榮膺了主要的功勞。研究他人假設的人常常在一兩次失敗以後就放棄了，因為他欠缺那種想要證實它的強烈願望；而我們所需要的正是這種強烈願望，以驅使他做徹底的試驗，並想出各種可能的方法來變化實驗的條件。由於瞭解了這一點，高明的研究工作指導者試圖引導工作人員自己提出研究計劃，這樣，使他感到這是他自己的想法。

#### **運用假設須知** *Precautions in the use of hypothesis*

(1) 不要抱住已被證明無用的想法不放

假設這個工具如果使用不當，會引起麻煩。當我們證明假設與事實不符的時候，就須立即放棄或修改它。這一點說起來容易，做起來卻難。當自己絕妙的腦力似乎能解釋幾件先前並不一致的事實，並大有作出進一步發展的希望時，人們在高興之餘，就容易忽視與已經建構成的圖案不協調的種種現象，或者試圖幫它作合理的解釋（有時候甚至會歪曲了原意）。研究人員抱住已有破綻的假設不放，無視相反的論證，並不是很罕見的事；甚至故意隱匿矛盾的結果，也不是絕對沒有的事。如果實驗結果或觀察到的現象與假設截然相反，如果必須用過分複雜或很不可能的補助假設來與之配合，人們最好還是放棄這種想法，不必為之遺憾。如能代之以新的假設，那麼，放棄舊有假設就容易得多了。失望的感覺到時也會煙消雲散。

達爾文和貝爾納都有這樣的特點：當觀察到的事實違背假設的時候，他們隨時都能放棄或修改假設。在發現假設不能令人滿意時，想像力豐富的科學家，比想像力貧乏的科學家更容易放棄它。後一種人有更大的危險把時間白白浪費掉，因為當事實證明必須放棄某一觀念時，他們抱住這一觀念不放。津澤把死抱無結果想法不放的人，生動地比做孵在煮過雞蛋上的母雞。

另一方面，對假設的信念以及堅忍不拔的精神，有時是十分可貴的，正像引述有關魯和埃利希的例子所說明的那樣。同樣，法拉第 (Michael Faraday) 儘管一再遭到失敗，仍然堅信自己的想法，直到最後，終於用磁鐵產生了電流。正如貝爾納所注意到的，否定結果往往無法說明問題。(1) 頑固堅持一種在矛盾的論證面前無立足之地的想法，與 (2) 堅持一種雖然難以證實但卻無直接論證否定它的假設，二者之間有天壤之別。研究人員判斷情況必須鐵面無私。然而，即使在第二類情況下，也有這樣的可能：如果毫無進展，那麼最好放棄這個意圖，起碼是暫時放棄。這種假設可能是非常好的，但為了證實它所需要的有關技術或知識也許無法辦到。有時，一個項目擱置多年，直到獲得新的知識，或科學家想出新方法時，才得以重新進行。

(2) 想法服從事實的思想訓練

必須經常警惕這樣的危險：一旦假設形成，偏愛可能影響我們的觀察、解釋以及判斷；『主觀願望』可能在不知不覺中發生。貝爾納說：『過於相信自己的理論或想法的人，不僅很難獲得新發現；而且會做很壞的觀察。』

在進行觀察和實驗時，如不小心地保持客觀態度，就有可能不自覺地歪曲了結果。甚至孟德爾 (Gregor Mendel) 這樣的偉大研究家也似乎陷入了這樣的圈套；如費歇爾所指出，孟德爾的研究結果就偏向他期望的結果。德國的動物學家蓋特克 (Gatke) 堅信自己關於鳥類能高速飛行的觀點是正確的，他報告說，在實際中觀察到鳥類一分鐘能飛行四哩。大家相信他說的是真話，但他被自己的信念所欺騙以致作出了錯誤的觀察。

防止這樣傾向的最好方法，是培養一種使自己的意見和願望服從客觀證據的思想習慣，並培養自己對事物本來面目的尊重；還要經常記住，假設只是一種假定。正

如赫胥黎 (Thomas Huxley) 雄辯地說：『我要做的是教我的願望符合事實，而不是試圖讓事實與我的願望調和。你們要像一個小學生那樣坐在事實面前，準備放棄一切先入之見，恭恭敬敬地照著大自然指的路走，否則，就將一無所得。』

張伯倫 (Chamberlain) 提出了一個有趣的保障法，即研究工作中多種假設的原則。他的意見是，盡可能的提出假設，在研究時牢記在心。這種精神狀態能促使觀察者尋求與每一種假設有關的事實，並賦予那些微不足道的事實以重要意義。雖則如此，我懷疑這種方法是否經常可行。更常用的辦法是提出一系列的假設，選擇可能性最大的來試驗，然後，如更證明顯示它有所欠缺，再轉向下一個。

當達爾文遇到不利於自己假設的數據時，他特別記錄下來，因為他懂得這樣的數據比受人歡迎的事實更容易被遺忘。

### (3) 對想法進行批判的審查

人們不應過分急於接受一個聯想到的猜測，即使作為一個試驗性的假設，也要經過仔細推敲才能接受，因為意見一旦形成，想要再設計出其它可供選擇的方案就不容易了。最危險的是那種似乎『顯而易見』的想法，往往未經質疑就被接受下來。在肝硬變的情況下，吃低蛋白的飲食使器官儘量得到休息似乎是十分合理的，但最近的研究表明，這正是最忌諱的，因為低蛋白的飲食能造成肝損傷。讓受傷關節休息的做法也從未有人提出質疑，直到幾年以前，一個大膽的人發現，做一套適當的運動可使關節更快恢復。多年來農民有鋤鬆表土的習慣，相依這樣做能減少水分因揮發而流失。基恩 (B.A. Kean) 證明這種看法缺乏足夠的實驗基礎，在大多數情況下鬆土並不起任何作用。這樣他使社會節省了一大筆無用的開支。

### (4) 對錯誤的觀念退避三舍

上面援引了一些例證，說明有些假設儘管錯誤，卻可能得出成果。然而，雖則如此，絕大部分無用的假設必須受到摒棄。更為嚴重的是：一些幸存的錯誤假設和概念，不但不能帶來收獲，而且實際上阻礙了科學的發展。一切礦物質中包含水銀的舊觀念以及燃素說就是二例。根據後一種理論，任何可燃物質內都含有一種燃燒時失去的成分，稱為燃素。這種觀念長時間阻礙了化學的發展，妨礙了對燃燒、氧化、還原等過程的理解。這一謬論直到一七七八年才由拉瓦錫 (Antoine Lavoisier) 揭露，但是，在以後的一段時間內，英國大科學家普里斯特利 (Joseph Priestley)、瓦特 (Watt) 和卡文迪許 (Cavendish) 仍然堅持這種看法。普里斯特利則到一八〇四年死時還未接受新觀點。

在科學的發展上，對嚴重謬誤論證的揭露，其價值不亞於創造性的發現。巴斯德反對並戰勝了自然發生的觀念；霍普金斯則反對並戰勝了把細胞質看作一個巨大分子的半神秘概念。醫學上的錯誤概念，不但阻礙發展，而且會帶來很大的危害，造成不必要的痛苦。例如，費城著名醫生拉什 (Benjamin Rush, 1745-1813) 曾以他所作的治療為例：『我為一個新近抵達的英國人六天內放血十二次，血量為一百四十四盎司；其中二十四小時內放血四次；同樣在這六天內，我給了他近一五十粒的甘汞，其中藥喇叭和藤黃 [譯註：二者都是瀉藥] 的比例如常。』

一旦相信了某種想法之後，就很難僅僅由於發現了某些相反的事實就被放棄。只有在提出了更符合新事實的假設時，錯誤的想法才被丟棄。

### **提要** *Summary*

假設是研究工作中最重要的智力活動手段。其作用是指出新實驗和新觀測，因而有時會導致新發現，甚至在假設本身並不正確時亦如此。

我們必須十分注意，不使自己對自己的假設過於熱中，應力求客觀地判斷，並一旦發現矛盾的事實，就修改它或丟棄它。要提高警覺，不使觀察和解釋受到假設的影響而歪曲。假設在不被相信的情況下，亦可加以利用。

## 第五章 想像力 Imagination

有了精確的實驗或觀測作為研究的依據，想像力便成為自然科學理論的設計師。

- 廷德爾 -

豐富的想像·虛假的線索·好奇心激發思考·討論能激勵思想·受條件限制的思考·提要

### 豐富的想像 *Productive thinking*

在本章和下一章裏，將簡單討論『想法 idea』怎樣在頭腦中產生，以及那些條件有利於創造性的思維活動。這裏，我也照其他章節的辦法，把一個完整的題目武斷地分開，以便對有關過程進行批判的考察。因此，本章所包括的很多材料應視為與『直覺』一章有關，而下一章內容的大部分也同樣適用於『想像力』。

杜威 (John Dewey) 把『自覺思維』分解為下列幾個階段。首先，對某種困難或問題有所意識，從而連成刺激。繼而，一個想像的解決方法躍入自覺的頭腦。理智現在才開始作用，對這一想法進行考察，決定取捨。如果想法被摒棄，我們的思維活動則回到前二階段，並重複方才的過程。我們必須懂得，重要的是：想法的形成不是有意識的、自覺的行為。它不是我們所做的事，而是在我們身上發生的事。

在平常的思維過程中，我們就是這樣不斷地考慮這些想法，連接了各個推理的步驟。而且，我們對此習以為常，竟渾然不覺。以往的經驗和訓練在頭腦中形成聯想，通常，我們就從回憶這類聯想的過程中，直接產生了新的想法及新的配合。但是，偶而在腦際也閃過某種特別獨創的想法，但並不以過去的聯想(至少不以一開始就很明顯的聯想)為基礎。我們可能突然看到了好幾件事物或好幾個想法之間的聯繫；或者，可能躍進了一大步，而不是像通常那樣，當一對或一組想法之間的聯繫業已確立，或顯而易見時只邁著小步子。這種大突變不僅僅在我們考慮問題時發生，而且在我們並不思考什麼問題也經常發生，或甚至在我們做著別的事情的時候；在後兩種情況下，突變往往十分驚人。雖然這些想法與那些幾乎不斷出現而且不那麼令人興奮的想法之間，也許並無根本上的區別，而且也不可能截然區分，但是，為了方便起見，我們要在下一章以『直覺』為題把兩類想法分別加以考慮。本節將把注意力集中於創造性思維的一般特徵上。

杜威提倡他稱之為『思考性思維』的東西，即反覆思考一個問題，給予有步驟的和連貫性的思考，以區別於在腦海中自由運行的各種念頭。也許後一種情況最確切的名稱叫『夢想』。夢想也有它的用處，下面就要談到。但是，思維可以是思考性的，卻又是效率不高的。思想家出於急躁或惰怠，可能對產生的想法審查得不夠精確，也可能在得出結論時操之過急。杜威說很多人或是由於他們受不了那種精神上的不愉

快，或是由於他們把疑惑狀態看成是一種低劣的表現，而不能容忍這種狀態。

『要真正做到多思，我們必須甘心忍受並延續那種疑惑的狀態，這是徹底探究的動力，這樣就不致於在未獲充足理由之前，接受某一想法或肯定某一信念。』也許，一個訓練有素的思想家的主要特點在於，他在佐證不足的情況下不輕易做出結論；而未受訓練的思想家則很可能這樣做。

有意識地創造想法或支配創造性想法，是不可能的事。當某種困難刺激頭腦時，想像的解決方法簡直是自動地躍入意識。這些方法的多寡或優劣，取決於過去對該問題的經驗和訓練的種度。我們能有意識地去做，便是這樣來訓練自己的頭腦，自覺地把思想引導到某一問題上，考慮這個問題，並審查半自覺的頭腦所想出的各種建議。杜威說：思維活動中智力是在建議提出後，它對建議所採取的行動。

在條件相同的情況下，我們知識的寶藏越豐富，產生重要想法的可能性就越大。此外，如果具有各種相關學科或者甚至不太相關學科的廣博學識，那麼，獨創的見解就更可能產生。正如泰勒 (E.L. Taylor) 博士所說：『具有豐富知識和經驗的人，比只擁有一種知識和經驗的人，更容易產生新的聯想和獨到的見解。』

有獨創性重要貢獻的科學家，常常是興趣廣泛的人，或是研究過他們專修學科之外的學科的人。獨創性常常在於發現兩個或兩個以上研究對象或想法之間的聯繫或相似之點，而我們原來以為這些對象或想法彼此沒有關係。

在尋求獨創性的想法時，放棄杜威提倡的那種有方向、受理智支配的思維活動，而任自己的想像馳騁，即『夢想』，有時是有益的。哈定 (Harding) 說所有獨創性的思想家都是幻想家。她對幻想解釋如下：『就一個題目進行幻想，... 就是有意使思想消極地集中在這個題目上，使其順著思緒發生的軌道行進，只有在一無成果時才停止；而一般來說任其自然形成，自然分支，直至產生有用而又有趣的結果。』普朗克 (Planck) 說：『人們試圖在想像的圖紙上逐步建立條理，而這想像的圖紙則一而再、再而三地化成泡影，這樣，我們必須再從頭開始。這種反覆的過程對最終勝利的想像和信念是不可或缺的。在此沒有純理性主義者站立的位置。』

在作如此思考的時候，很多人發現：把思想具體化，在腦海中構成形象，能激發想像力。據說，馬克斯威爾 (Clerk Maxwell) 養成了把每個問題在頭腦中構成形象的習慣。埃利希也大力提倡把想法轉為圖形，這點我們可從他給自己的『側鏈學說』畫的圖看出。圖畫的比喻在科學思維中能起重要作用。德國化學家凱庫勒 (Kekule) 就是這樣想到苯環的，這個想法使得有機化學徹底革新。他敘述了他是怎樣坐在桌前寫他的化學教科書的：『但事情進行得不順利，我的心想看別的事了。我把坐椅轉向爐邊，進入半睡眠狀態。原子在我眼前飛動：長長的隊伍，變化多姿，靠近了，連結起來了，一個個扭動著，回轉著，像蛇一樣。看，那是什麼？一條蛇咬住了自己的尾巴，在我眼前輕蔑地旋轉。我如從電擊中驚醒。那晚我為這個假設的結果工作了整夜。... 先生們，讓我們學會做夢吧！』

然而，物理學已經發展到這樣的階段：某些現象只能用數學的語言來表達，再

也不可能用機械的比擬來表示了。

在研究傳染病的時候，有時最好像貝爾納那樣，採取生物學的觀點，把致病微生物看作是為自己生存而不斷掙扎的物種；或者，乾脆像畢生致力於斑疹傷寒研究的津澤對這種疾病採取的辦法那樣：在想像中，把疾病人格化。

特別是在物理學和數學中，尋求普遍性結論的一個重要誘因，是對論據之間的條理與邏輯聯繫的喜好。愛因斯坦說：『沒有什麼合乎邏輯的方法能導致這些基本定律的發現。有的只是直覺的方法，輔之以對現象背後規律的一種愛好。』

喬治 (W.H. George) 說，當觀察者看到他視野內的物體所構成的圖案有一個空缺時，他產生了一種緊張的感覺。等到填補了空缺，圖案的各部分各適其位時，觀察者感到輕鬆、滿意。普遍性的結論在完成任何一項任務時所體驗到的滿足心情，是另一種可以用此種概念解釋的現象。這種心情也許與任何有關報酬的事物毫無聯繫，因為它也同樣適用於那些不重要的事務，如填字遊戲、爬山或讀書。當有人不同意我們的觀點，或是出現違反我們信念的事實時，我們感到一種本能的氣惱，其原因也許就是由於他們破壞了我們已經形成的圖案。

人的頭腦在事物中有追求條理性的傾向，這一點並未逃過培根明察秋毫的慧眼。他警告我們要謹防這種傾向把我們引入歧途，使我們誤信自己看到了一種高度的條理性與均衡性，而實際上卻沒有這麼高的程度。

當人們正作出新想法以後，就要予以判斷。以知識為根據的推理，對日常生活和科學上的簡單問題，通常足以敷用；不過，在研究工作中，要作出有效的推理，可用的知識往往不足。這裏，人們只能仰仗『感覺』或『鑒賞力』。哈定說：『如果科學家一生注意細緻的觀察，訓練自己注意尋求類比，使自己具備有關的知識，那麼，這個『感覺工具』... 就將成為神通廣大的仙杖 ... 在創造性的科學上，感覺起了主導的作用。』

寫到想像力在科學上的重要性時，廷德爾 (Tyndall) 說：『牛頓從落下的蘋果想到引力的問題，這是有準備的想像力的一種行動。根據化學實驗，道爾頓 (John Dalton) 富於建設性的想像力形成了原子理論。戴維 (Humphrey Davy) 特別富有想像力；而對於法拉第來說，他在全部實驗之前和實驗之中，想像力都不斷作用和指導著他的全部實驗。作為一個發明家，他的力量和成就，大都應歸功於想像力給他的激勵。』

想像力之所以重要，不僅在於引導我們發現新的事實，而且激發我們作出新的研究，因為它使我們看到可能產生結果的事物。事實和想法本身是死的東西，是想像力賦予它們生命。但夢想和猜測若無推理使它們作有教的運用，也只是胡思亂想而已。在奔放的想像力中捕捉到的模糊概念必須化為具體的命題和假設。

### 虛假的線索 *False trails*

在探索新知識的過程中，想像力雖是靈感的源泉，但如不受到訓練，也可能釀成危險：

豐富的想像力須用批評的精神與判斷來加以平衡。當然，這決不等於說要把它加以壓制或扼殺。想像僅能使我們步入未知的黑暗世界，在那裏憑借我們攜帶的知識之微光，可能瞥見某種似乎有趣的事。但是，當我們把它帶出來細加端詳的時候，往往發現它只不過是塊廢料，一時閃爍引起人們注意罷了。看不清楚的東西常常具有古怪的形狀。想像既是一切希望和靈感的源泉，而且同時也是沮喪失望的緣由。忘記這點就會招致悲觀絕望。

不管其起源如何，多數假設被證明是錯誤的。法拉第寫道：『世人何嘗知道：在那些通過科學研究工作者頭腦的思想和構建理論當中，有多少被他自己嚴格的批判、非難的考察，而默默地、隱蔽地扼殺了。就是最有成就的科學家，他們得以實現的建議、希望、願望以及初步結論，跟原先出現在腦中的思想比起來還不到十分之一。』任何有經驗的研究人員都能證明這些話。達爾文甚至走得更遠，他說：『我一貫力求保持思想不受拘束，一旦某一假設被事實證明錯誤時，不論我自己對該假設如何偏愛（在每一課題上我都禁不住要形成一個假設），我都放棄它。』我想不起有那一個最初形成的假設，不是在一段時間過後就被放棄，或被大加修改的。

赫胥黎說：『用醜惡的事實屠殺美麗的假設，是科學的最大悲劇。』伯內特告訴我，他想出來的『巧主意』絕大多數都被證明是錯誤的。

犯錯誤是無可非議的，但要能及時覺察並糾正。謹慎小心的科學家既犯不了錯誤，也不會有所發現。懷德海 (Whitehead) 這點說得好：『畏懼錯誤就是毀滅進步。』戴維說：『我的那些最重要的發現是受到失敗的啟示而作出的。』在發現想法有錯誤並作出適當的反應，一個訓練有素的思想家，比起沒有受過訓練的人，有極大的有利條件。前者不但從成功中得益，而且也從錯誤中吸取教訓。杜威說：『使一個不慣於思考的人感到沮喪煩惱的事，... 對於訓練有素的探究者來說，是動力和指針...。它或是能披露新問題，或是有助於解釋和闡明新問題。』

一個有創造性的研究工作者，往往不怕擔風險犯錯誤，而且，在報告自己的發現前，進行嚴格的試驗，尋找錯誤。不僅在生物科學中是這樣，而且在數學上也是如此。哈達馬 (Jacques Salomon Hadamard) 說，優秀的數學家經常犯錯誤，但能很快發現並糾正，還說他本人就比他的學生犯更多的錯誤。劍橋大學心理學教授巴特利特 (Frederic Bartlett) 爵士在評論這一說法時提出：『測定智力技能的唯一最佳標準，可能是檢測其摒棄謬誤的速度。』利斯特曾說：『我能想像到的人之最高尚行為，除了傳播真理外，就是公開放棄錯誤。』

喬治指出，即使是天資出眾的人，他們的『假設』之出生率雖很高，但也僅能超過其死亡率而已。

很多人認為普朗克的量子論，甚至比愛因斯坦的相對論對科學的貢獻更大。普朗克獲得諾貝爾獎時說：『回顧 ... 最後通向發現（量子論）的漫長曲折的道路時，我對歌德 (Goethe) 的話記憶猶新，他說，人們若要有所追求就不能不犯錯誤。』

愛因斯坦在談到他的廣義相對論的起源時說：『這些都是思想上的謬誤，使我艱

苦工作了整整兩年，直到一九一五年我才終於認清它們確實是謬誤。... 最後的結果看來近乎簡單；而且任何一個聰明的大學生不會碰到太大的困難就能理解它。但是，在最後突破、豁然開朗之前，那種在黑暗中對感覺到了、卻又不能表達出來的真理進行探索的日子；那強烈的願望，以及時而充滿信心、時而擔憂疑慮的心情 ... 所有這一切，只有親身經歷過的人才能體會。』

也許賀姆霍茲 (Hermann von Helmholtz) 所寫的，是關於這些事最有趣、最能說明問題的故事：『一八九一年我解決了幾個數學和物理學上的問題，其中有幾個是奧伊勒 (Euler) 以來所有大數學家都為之絞盡腦汁的。... 但是，我知道，所有這些難題的解決，幾乎都是在無數次謬誤以後，由於一系列僥倖的猜測，才構成順利的例子，再逐步概括而被我發現。這就大大削減了我為自己的推斷所可能感到的自豪。我欣然把自己比做山間的漫遊者，不諳山路，緩慢吃力地攀登，不時要止步回身，因為前面已是絕境。突然，或是由於念頭一閃，或是由於幸運，他發現一條通向前方的新蹊徑。等到他最後登上頂峰時，他羞愧地發現，如果當初他具有找到正確進路的智慧，本有一條陽關大道可以直達頂巔。在我的著作中，我對讀者自然隻字未提我的錯誤，而只是描述了讀者可以不費氣力攀上同樣高峰的路徑。』

### 好奇心激發思考 *Curiosity as an incentive to thinking*

同其它動物一樣，我們與生俱有好奇的本能。好奇心激發青少年去發現我們生活的世界：那些堅硬、那些柔軟、那些可動、那些固定，發現東西向下墜落，水具有稱之為液體的特性，以及其它一切我們適應環境所必需的知識。據說，尚未具備精神反射的嬰兒，不像成年人那樣表現出『攻擊-逃避』的反應，他們的行為反倒截然相反。到入學年齡時，我們通常已經過了這個發展階段，那時，大部分的新知識是通過向別人學習，亦即：或是觀察別人，或是別人告訴我們，或是閱讀，而積累而得的。我們已經具備了有關我們生活環境的實用知識，我們的好奇心若不是成功地轉移到智力方面的興趣上，那麼它會開始減弱。

科學家的好奇心，通常表現在探索他所注意到的事物，但尚無令人滿意的解釋出現或其相互關係的認識。所謂『解釋』，通常在於把新觀察或新想法跟已被接受的事實或想法聯繫起來。一種解釋可能只是一種概括，它把一大堆資料連結在一起，成為一個有規則的整體，可以和現存的知識與信念聯繫起來。科學家通常具有一種強烈的願望，要去尋求其間並無明顯聯繫的大量資料背後的原理。這種強烈願望可被視為成人型的或昇華了的好奇心。熱衷於研究工作的學生往往是一個具有超乎常人好奇心的人。

我們已經看到，認識到困難或難題的存在，可能就是認識到知識上令人不滿意的現狀，它能夠激勵新想法的產生。不具好奇心的人很少受到這種激勵，因為人們通常是通過質疑其過程為什麼如此，如何作用，某物體為什麼採取現在的形式，如何採取，從而發覺難題的存在。當有人提出問題時，我們要努力自我克制不去回答這個問題。這一事實證明，問題就是激勵的泉源。

某些純粹主義者主張科學家只應知其然而不應知其所以然。他們認為：欲知其所以然就意味著，在事物的背後有著理智的目的；各種活動受著超自然力量的支配而達到一定的目標。這是『目的論』[譯註：一種唯心哲學理論，認為任何事物均為其自身的目的或某種外在的目的所支配和決定]的觀點，已為現代科學所鄙棄。現代科學力求認識一切自然現象的發展過程。馮·布呂克(von Bruecke)曾說：『目的論是一位任何生物學家缺之不能生存的女郎；然而生物學家卻羞恥在公共場合與她為伴。』

在生物學上，完全有理由問其所以然，因為一切事件都有其緣由，因為生物體的結構和反應通常都履行其生存價值的功能，在這個意義上，他們是有目的。提出『為什麼』能有效地激發對其可能的緣由或目的之想像。『怎麼樣』也是有用的問題，可引起對其發展過程的思考。

科學家的好奇心是永遠滿足不了的，因為隨著每一個進展，正如巴伐洛夫(Pavlov)所說：『我們達到了更高的水準，看到了更廣闊的天地，見到了原先在視野之外的東西。』這裏我們可以舉一個例子，看看好奇心怎樣促使亨特進行實驗從而導致了一項重要的發現。

一天，亨特在倫敦郊外的里士滿公園看見一隻鹿的鹿角仍在生長。亨特好奇的想知道如果切斷頭部一側的血液供給將會發生什麼情況。他做了一個實驗，繫緊一側的外頸動脈，頓時，相應的鹿角冷了下來，不再生長。但是過了一會兒，鹿角又暖了過來，繼續生長。亨特查明，繫帶並未鬆，而是鄰近的血管擴張了，輸送了充足的血液。側支循環的存在及其擴張的可能就是這樣發現的。在這以前無人敢用結紮法治療動脈瘤，怕引起壞疽，而現在亨特看到了治療的可能性，他用結紮處理動脈瘤。就這樣確立了今天外科上稱為亨特氏法的手術。強烈的好奇心似乎是亨特背後的推動力，奠定了現代外科學的基礎。他甚至出錢讓一個外科醫生到格陵蘭漁場去替他觀察鯨魚。

### 討論能激勵思想 *Discussion as a stimulus to the mind*

學術討論常有助於創造性的思維活動。與同事或與外行們討論問題。可能在下列某一方面有所幫助。

#### (1) 別人可能提出有益的建議

別人很難直接指出擺脫困境的解決方法，因為他不可能比研究該問題的科學家擁有更多的專門知識。但由於有著不同的知識背景，他可能從不同的角度觀察問題，提出新方法。甚至外行人有時也能提出有益的建議。例如，採用瓊脂作細菌學中的固體培養基就是柯赫(Robert Koch)的同事赫西(Hesse)的妻子建議的。

#### (2) 一個新想法可能由兩三個人集中他們的知識或想法而產生

也許其中任何一個科學家單獨都不具備必要的知識，可以得出將他們大家的知識結合起來所能得到的結論。

#### (3) 討論是披露謬誤的寶貴方法

以錯誤知識或不正確推理為基礎的想法，可以通過討論而得到糾正：同樣，盲目的狂熱可以被遏制，並及時受到制止。一個無法與同事談論自己的工作或與世隔絕的科學家，常因追蹤錯誤線索而浪費時間。

(4) 討論和溝通觀點往往使人振作，給人激勵和鼓舞，特別在人們遇到困難，感到煩惱的時候。

(5) 討論的最寶貴作用在於幫助人們擺脫那些已經形成、但事實證明是無成效的思想習慣；也就是說，擺脫受條件限制的思考。受條件限制的思考現象將在下一節討論。

討論必須在互相幫助，互相信信的氣氛中進行，人們必須作自覺的努力，以保持開放的、善於接受他人意見的頭腦。參加討論的人數通常以不超過六人為宜。在這樣規模的小組中，沒有人會怯於承認對某些事物的無知，並從而糾正自己的錯誤，因為在知識高度專門化的今天，每個人的知識都是有限的。自覺無知和學術上的誠實，對研究人員來說，是兩個重要的品德。自由討論需要一種絕不因為是權威，或甚至受尊重的意見，而有所拘束的氣氛。羅伯遜 (Brailsford Robertson) 講過大生化學家洛布 (Jacques Loeb) 的故事。當課後一個學生問洛布問題時，他作了很特別的回答：『我回答不出你的問題，因為我自己還沒有看過教科書的那一章。不過你明天來的時候我已經看過了，也許能夠回答你。』

學生常常錯誤地認為自己的老師無所不知，他們不知道教員要花很多時間準備功課，除了講課講到的那個題目外，他們的知識往往就不給人那麼深刻的印象了。不僅一個教科書的作者不能把書中的全部知識裝入腦中，而且，一篇研究論文的作者也要不時參看自己的論文，來回憶他自己所做的研究細節。

在實驗室三五成群共進午餐，或共用午後茶點是個好習慣，可提供大量機會進行一些非正式的討論。此外，舉行略微正式的討論會或午茶會，在會上研究工作人員可提出在研究之前、研究之中以及研究結束後，他們各自發現的問題，也是有益的做法。同一機構或部門的研究工作人員交流各自的興趣和問題，對於促成一種激勵思想的工作氣氛大有好處。熱情是具有感染力的，並且又是防止意志消沉的最好保障。

### 受條件限制的思考 *Conditioned thinking*

心理學家注意到，我們一旦犯了錯誤，比如把一大串數字加錯了，往往有一再重複這個錯誤的傾向。這種現象被稱為 固執性錯誤。思考問題時情況也一樣，我們的思想每採取某種特定的思路，下一次採取同樣思路的可能也就越大。在一連串的思想中，一個個觀念之間形成了聯繫，這種聯繫每利用一次就變得越加牢固，直至最後，這種聯繫緊緊地建立起來，以致它們的連結很難破壞。正像形成條件反射一樣，思考受到條件的限制。我們很可能具備足夠的資料來解決問題，然而，一旦採用了一種不利的思路，問題考慮得越多，採取有利思路的可能就越小。正如尼科爾所說：『面臨困難的時間越長，解決困難的希望越小。』

思考還因向別人學習而受到條件的限制，這種學習可以是通過別人的口授，也

可以是閱讀別人的著作。在第一章裏我們討論了不加批判的閱讀對創造性的不利影響。確實，一切學習都使思想受到限制。然而，我們這裏所關切的條件限制的影響，是不利於我們達成獨創思想的那些因素。這就不僅僅牽涉到學習錯誤的觀點，或受錯誤觀點所限制，因為，正如我們在第一章中所看到的：閱讀，即便是閱讀真理，對於獨創精神也可能有不利的作用。

使我們的思想擺脫條件限制的兩個主要方法是(1)暫時的擺在一旁，以及(2)討論它。如果把問題擱置數天或數週再回到問題上來，這時，舊有的聯想或部分地被遺忘，或變得淡薄。而且，我們常常得以從新的角度來看這個問題，從而產生了新的想法。把寫好的論文擱置一旁數週的做法，很能說明暫時擺在一旁的好處。等到回過頭再來看的時候，先前被疏忽的缺陷暴露得十分明顯，恰當的新見解也可能躍入腦際。

討論對於突破固定的陳舊思路有很大的幫助，在向別人，特別給一個不熟知本學科的人解釋問題的時候，必須闡明並詳述那些過去被接受的方法，這樣就不能再採用熟悉的思路。常有這樣的情況：在講解的時候，對方未發一語自己就想到了一個新念頭；講課時也有這樣的情況，因為當教師在作講解的時候，他自己比以前『看』得更清楚了。對方的問題，那怕是無知的問題，也可能使講述者打破已形成的思想聯繫，即使只是為了釐清這一建議的不具效用，也可能使得講述者看到解決問題的新方法，或是看到先前未曾注意到的某些現象或想法之間的聯繫。提問題對思想產生的影響可比喻為撥火助燃，它擾亂了原有固定的安排，帶來了新的配合。由於擾亂了固定的思路，與不熟悉本學科的人進行討論可能幫助更大，因為親近的同事之間很多思想習慣都是共同的。撰寫評論問題可能與講課一樣有幫助。

受條件限制的思考這一概念還有一個有益的應用，即在無法解決某一問題時，最好從頭開始，若有可能，採用新的方法。例如我曾企圖尋找引起羊腐蹄病的微生物，研究數年而無所得。我一再失敗，但每一次我都用同樣的方法重新開頭，也就是說，試圖使用顯微鏡來選擇有機體病原，然後在培養物中分離出來。這個方法似乎是最合理的方法。但是，僅在嘗試了一切可能方法而不得不予以放棄時，我才想到了一個解決該問題的根本不同方法，即用各種培養基試驗混合培養物，以便找到一種能致病者。按照這個方法，我很快就解決了這個問題。

## 提要 *Summary*

創造性思考源自對困難的認識，解決問題的想法躍入腦海或被摒棄。思想中新的組合來自合理的聯想、幻想，或有時來自偶然的遭遇，想像力豐富的頭腦產生多種且多樣的配合。在證據不足的時候，科學的思想家不急於做出判斷，而是繼續保持懷疑的態度。想像力很少使人得出正確的答案，大多數的想法必會被丟棄。研究工作者不應害怕犯錯誤，只要錯誤能及時得到糾正就行。

好奇心如不轉到智力方面，則在童年之後就會衰退。作為研究工作者，他的好奇心通常用於尋求對那些尚未理解現象的解釋。

進行討論常常有助於創造性思考，研究機構中每天進行三五成羣的非正式討論，很有好處。

一旦我們對一組資料進行了思考，則往往每次都會採用同樣的思路，這樣，就容易重複不利的思路。有兩種辦法可以幫助我們思想擺脫這種條件的限制；一是把問題暫時擱置起來；一是同別人討論問題，最好同不熟悉我們工作領域的人進行討論。

## 第六章 直覺 Intuition

『其正可貴的因素是直覺』

- 阿爾伯特·愛因斯坦 -

定義與實例·直覺的心理學·探索與捕獲直覺的方法·科學鑒賞力·提要

### 定義與實例 *Definitions and illustration*

『直覺』一詞有幾種略微不同的用法，所以一開始就必須指出：直覺用在這裏是指對某種情況突如其來的穎悟或理解，也就是人們在不自覺地想看某一題目時，雖不一定但卻常常躍入意識而使問題得到澄清的一種思想。靈感、啟示、和『預感』這些詞也是用來形容這種現象的，但這幾個詞常常還有別的意思。當人們不自覺地想著某一問題時，戲劇性地出現的思想就是直覺最突出的例子。但是，在自覺地思考問題時，突如其來的思想也是直覺。在我們初得資料時，這種直覺往往並不明顯。很可能一切思想，包括在一般推理中構成新進步步驟的那些簡單思想，都由直覺的作用產生。僅僅為了方便，我們在本章單獨討論那種更重要、更富有戲劇性的思想進程。

對於科學思維中直覺這一課題，做出了寶貴貢獻的有：美國化學家普拉特 (Platt) 和貝克 (Baker)，法國數學家彭加勒 (Henry Poincare) 和哈達馬姆，美國生理學家坎農 (W.B. Cannon) 和心理學家華勒斯 (Graham Wallas) 在寫本章時，我自行援引了普拉特 和貝克出色文章中的材料，他們二位用填寫調查表的方式就這個題目調查了很多化學家。下述實例節引自他們搜集的材料。

『我擺脫了有關這個問題的一切思緒，快步走到街上，突然，在街上的一個地方，我至今還能指出這個地方，一個想法彷彿從天而降，來到腦中，其清晰明確猶如有一個聲音在大聲喊叫。』

『我決心放下工作，放下有關工作的一切思想。第二天，我在做一件性質完全不同的事情時，好像電光一閃，突然在頭腦中出現了一個思想，這就是解決的辦法 ... 簡單到使我奇怪怎麼先前竟然沒有想到。』

『這個想法的出現使我大為震驚，我至今還清清楚楚地記得當時的位置。』

克魯泡特金寫道：『然後是幾個月專注的思考，想要找出零散的觀察現象裏令人不解的混亂究竟意味著什麼。突然有一天如雷掣電閃，統統變得清晰明白 ... 長時間耐心的研究之後突然誕生的概念，使我茅塞頓開，豁然開朗，這時的快樂是人生很少快事所能比擬的。』

德國大物理學家賀姆霍茲說：在對問題作了各方面的研究以後，... 『巧妙的想法不費吹灰之力意外地到來，猶如靈感』。他發現這些思想不是出現在精神疲憊或是伏案

工作的時候，而往往是在一夜酣睡之後的早上，或是當天氣晴朗緩步攀登樹木蔥茂的小山時。

達爾文已經想到進化論的基本概念以後，一天，他正在閱讀馬爾薩斯 (Thomas Robert Malthus) 的人口論作為休息，這時，他突然想到：在生存競爭的條件下，有利的突變可能被保存下來，而不利的則被淘汰，他把這個想法記了下來。但還有一個重要問題尚未得到解釋，即由同一原種繁衍的機體在突變的過程中有趨異的傾向。這個問題他是在下述情況下解決的：『我能記得路上的那個地方。當時我坐在馬車裏，突然想到了這個問題的答案，高興極了。』

華萊士在一次病中閱讀馬爾薩斯『人口論』的時候，也獨立地想到了可用適者生存的觀念來解釋進化論。馬爾薩斯清晰地闡述了人類數量增長所受到的各種抑制，並提到那些被淘汰的是最不適合於生存的弱者。這時華萊士想到在動物界中情況也是大體相同：『模模糊糊地想著這種淘汰所意味著巨大而不斷的毀滅，我突然問道：『為什麼有的死了，有的活下去？』答案很明白，一般來說，適者生存 ... 然後，我突然閃過一念：這一自行發展的過程改進了人種 ... 適者生存。然後，突然我似乎看到了它的全部影響。』

下面是梅契尼科夫自己敘述細胞吞噬作用這一想法的起源：『一天，全家都去馬戲團看大猩猩的特技表演。我獨自留家在顯微鏡下觀察一只透明星魚幼蟲中游走細胞的壽命。忽然，一個新念頭閃過腦際。我突然想到：這一類細胞具有保護有機體不受侵襲的作用。我感到這一點意義十分重大，非常興奮，在房中踱來踱去，甚至走到海邊去歸整思想。』

彭加勒講到，在進行了一段時間緊張的數學研究以後，他到鄉間去旅行，不再去想工作了。『我的腳剛踏上剎車板，突然想到一種想法 ...，我用來定義富克斯 (Fuchs) 函數的變換方法，同非歐幾何的變換方法是完全一樣的。』

又一次，在想不出一個問題時，他走到海邊，然後『想些完全不相干的事情。一天，在山岩上散步的時候，我突然想到，而且想得又是那樣簡潔、突然和直截了當：不定三元二次型的算術變換和非歐幾何的變換方法完全一樣。』

哈達馬引用過數學家高斯 (Karl F. Gauss) 的一段經歷。高斯寫過關於他求證數年而未解的一個問題：『終於在兩天以前我成功了... 像閃電一樣，謎解開了。我自己也說不清楚是什麼導線，把我原先的知識和使我成功的東西連接了起來。』

直覺有時出現在睡眠之中，坎農說過一個突出的例子。格拉茨大學藥物學教授洛伊 (Otto Loewi)，一天夜裏醒來，想到一個極好的想法。他拿過紙筆簡單記了下來。翌晨醒來他知道昨天夜裏產生了靈感，但使他驚愕萬分的是，怎麼也看不清自己做的筆記了。他在實驗室裏整整坐了一天，面對看熟悉的儀器，就是想不起那個想法，也認不出自己的筆記。到晚上睡覺的時候，還是一無所得。但是到了夜間，他又一次醒了過來，還是同樣的頓悟，他高興極了。這回，他仔細地記錄下來，這才回去睡覺。

『次日他走進實驗室，以生物學歷史上少有的俐落、簡單、肯定的實驗證明了

神經搏動的化學媒介作用。他準備兩只蛙心，用鹽水使其保持跳動。他刺激一只蛙心的迷走神經，使其停止跳動，然後他把浸泡過這只蛙心的鹽水取出來浸泡第二只蛙心。洛伊滿意地看到：鹽水對第二只蛙心的作用，同刺激迷走神經對第一只蛙心的作用相同：搏動的肌肉停止了跳動。這就是世界各國對化學媒介作用進行大量實驗的起源，化學媒介作用不僅存在於神經與它們所影響的肌肉和腺體之間，而且也存在於神經元本身之間。』

坎農說他從青年時候起就常常得助於突然的、無法預見的頓悟。他常常腦子裏想著問題去睡覺，次晨醒來答案已是現成的了。下面一段說明了直覺略微不同的一種用法。『長期以來，我靠無意識的作用過程幫助我，已成習慣。例如，當我準備演講的時候，我就先想好講那幾點，寫一個粗略提綱。在這以後的幾夜中，我常常會驟然醒來，湧入腦海的是與提綱有關的極好例子、恰當的詞句和新鮮的思想。我把紙墨放在手邊，便於捕捉這些曇花一現的思想，以免遺忘。這種作用對我來說又可靠又經常，我還以為人人都是如此。但事實證明不然。』

同樣，我在寫作本書時，常有隨時出現的各種想法，有時正在思考本書的時候出現，有時不思考本書時也會。我把這些想法都潦草地記錄下來，過後再加整理。

上述例子應足以使讀者理解我應用直覺一詞的具體含義，並認識直覺在創造性思維中的重要性。

多數科學家熟悉直覺這種現象，但並非個個如此。在普拉特和貝克調查的人中，有百分之三十三的人說經常，百分之五十的人偶爾，百分之十七的人從未得力於直覺。從其他調查來看，我們知道有些人就他們本人所知，從未有過直覺，至少沒有什麼突出的直覺。他們不理解何為直覺，並相信自己的思想都是來自自覺的思考。上述觀點有些可能是由於他們對自己頭腦的作用過程考察不足所致。

上述例子可能給讀者造成錯覺，以為所有的直覺都是正確的，或至少是有用的。果真如此，那就違背前面所說有關假設和想法的一般情況。遺憾的是，直覺既然只是易犯錯誤的頭腦之產物，因此，決不是永遠正確的。根據普拉特和貝克的調查，百分之七的科學家報告說他們的直覺一貫正確，其餘的人估計：有百分之十至百分之九十不等的直覺日後證明是正確的。即使如此，這也可能是比實際情況更樂觀的估計，因為成功的例子往往比失敗的例子更容易被記住。幾位著名的科學家曾說，他們的大部分直覺後來都證明是錯的，現在也都忘了。

## 直覺的心理學 *Psychology of intuition*

產生直覺最典型的條件是：對問題進行了一段專注的研究，伴之而來的是渴求解決的方法；放下工作或轉而考慮其他；然後，一個想法戲劇性地突然到來，常常有一種肯定的感覺，人們經常為先前竟然不曾想到這個念頭而感到狂喜或甚至驚奇。

這種現象的心理作用現仍未被充分理解。大致上，一般人認為：直覺產生於頭腦的下意識活動，這時，大腦也許已經不再自覺的思考這個問題了，然而，卻通過下

意識活動思考它。

前一章指出：在我們不曾有意識地形成想法的時候，想法就直接躍入了自覺的思考。顯然，這些想法起源於頭腦的下意識活動。這些活動，當運用於某一問題時，立即把與這一特定問題有聯繫的各種看法連結起來，找到一種可能是重要的組合後，就提交自覺的思考加以評定。在我們自覺思考時出現的直覺，只不過是比往常更引人注目的想法而已。但是，想要說明對某一問題不再進行自覺思考時產生的直覺，則要多費一些筆墨。很可能下意識的頭腦仍在繼續考慮這個問題，並突然找到了一種重要的配合。產生於自覺思考時的新想法，往往帶來某種情感反應：人們感到高興，並也許有點興奮。也許，下意識的思考也能作出這種反應，結果就是把想法送進自覺的思考。這僅是猜測而已，但無疑，一個問題是可以繼續盤踞下意識頭腦的，因為我們大家共有的經歷證明，有時一個問題『盤桓腦際』，因為它不斷地、無意識地出現在思想中。其次，毫無疑義，情感是經常伴隨直覺出現的。

一些想法進入意識並被捕捉，但是否可能有一些未能進入自覺的思考，或僅是出現在瞬間，轉眼又消逝了，就像談話時想說但由於沒有機會而過後再也想不起的話一樣？根據剛才簡述的假設，與某一聯想相聯繫的情感越強烈，想法進入意識的可能就越大。根據這一推斷，人們可以預期：對解決問題抱強烈的願望，並在科學事物上培養一種『鑒賞力』，這種做法會大有幫助。那些說自己從未有過直覺的科學家，是否在獲得新想法時不感到高興，或是否缺乏感情的敏感性，知道這點倒是會很有意思的。

以上所述直覺的心理學概念，與人們所知道的那些造成直覺的條件是一致的。這就解釋了以下兩點的重要性：(1) 擺脫困住注意力的其它難題和煩惱。(2) 一段時間的休息有助於直覺的出現，因為當自覺的思考在不斷活動或過分疲勞時，可能收不到下意識思考傳送的信息。頗有幾個人是臥病在床時作出了著名的論斷。華萊士是在發瘧疾時想到了進化論中天擇的觀點，愛因斯坦也說他有關時間空間的深奧概念是在病床上想到的，坎農和彭加勒都說過躺在床上睡不著時產生了出色的想法。這也許是失眠的唯一好處。據說大工程師布林德利 (James Brindley) 每當遇到難題時，就一連幾天睡大覺，直到解決為止。笛卡兒 (Descartes) 據說是早上睡在床上時得出他的發現的，卡恰爾也提到了早上睡醒以後平靜的幾小時，歌德等好些人都認為這段時間最有利於新發現。司各特 (Walter Scott) 寫信對朋友說：『我的一生證明，睡醒和起床之間的半小時，非常有助於發揮我創造性的工作。期待的想法，總是在我一睜眼的時候大量湧現。』

貝克認為：最理想的時間，是躺在澡盆中的時間。並提出：阿基米德之所以在沐浴時想到他著名的原理，是因為浴盆裏條件最好，而不是因為他注意到了身體在水中的浮力。躺在床上或浴盆中之所以效果好，也許是由於完全不受其它干擾，還由於各種條件催人夢幻。還有人證明，悠閒，或從事輕鬆的活動，如在鄉間散步，或在花園裏摸摸弄弄，作些瑣碎的事，是很有好處的。傑克遜一向勸他的學生，在一天工作完畢以後，坐在一把舒適的椅子上，任思想圍繞白天有趣的事然遐想，並隨手寫下產生的念頭。

雖然，為了產生出色的想法，科學家需要有思考的時間。暫時放下工作的好，也許就在於能擺脫不利的、受條件限制的思考。精神高度集中地考慮一個問題，時間過久可能會造成思想堵塞，就像在竭力回憶一件從記憶中消失的事情時，往往無法想出來。

華勒斯認為，直覺總是出現在意識的邊緣而不是中心。他認為應該花力氣去捕捉直覺，密切注視出現在思想中的激流和回浪，而不是主流中有價值的想法。

據說，有些人在直覺出現以前有某種預感。他們感到某種直覺性的東西即將出現，但並不確切知道究竟是什麼，華勒斯把這叫做『暗示』。這種奇怪的現象似乎並不普遍。

我的同事伯內特發現：他與多數人不同，多半在寫作的時候，而不在休息的時候，產生直覺。我自己的體會是：連續數日集中研究一個問題以後，當我的意識放下工作時，這個問題仍不斷進入腦中。不論是聽演講、參加社交晚會、聽音樂或是看電影戶，我的思想都不斷轉向這個問題。然後，在刻意思考數分鐘後，一個新的想法有時會出現。偶爾，在想法躍入意識之前，很少或可能根本沒有進行自覺的思考。直覺出現前那種短暫的刻意思考，可能類似於華勒斯的『暗示』，很容易被錯過或忘記。許多人談論過音樂的有益影響，但關於這點並無一致意見。我發現不論是在看演出抑或是寫作時，某些形式的音樂有助於直覺，但並非各種形式都如此。在感情上，音樂帶給人的快感，近似於創造性思維活動帶給人們的快感，而適當的音樂能幫助造成適合於創造性思維的情緒。

許多人在獲得新發現或得到一種出色的直覺時，感受到巨大的感情刺激，這一點其它地方也提到了。這種感情的反應可能與對問題所付出的感情與思維活動量有關。與此同時，由有關該問題的工作所引起的一切煩惱沮喪，也頓時煙消雲散。在這方面讀一讀貝爾納精闢的說明是很有趣的：『那些沒有受過未知物折磨的人，不知道什麼是發現的快樂。』

情感上的敏感或許是科學家應該具有的一種可貴品質。無論如何，一個偉大的科學家應被看作是一個創造性的藝術家，把他看成是一個僅僅按照邏輯規則和實驗規章辦事的人是非常錯誤的。有些研究科學技巧的大師也表現了其他力面的藝術才能，愛因斯坦是一個熱心的音樂家，普朗克亦然。巴斯德和貝爾納早年都分別顯露了繪畫和戲劇寫作的才能。尼科爾說過一個有趣而奇怪的事實：古代秘魯語用同一個詞(hamavec)來表示詩人和發明家這兩個概念。

### **探索與捕獲直覺的方法** *Technique for seeking and capturing intuitions*

把許多人認為有助於直覺產生的條件，作一扼要總結並系統列出，對讀者可能是有益的。

(1) 對問題和資料進行長時間的思考，直到思想的飽和，這是最重要的前提。必須對問題抱有濃厚的興趣，對問題的解決抱有強烈的願望。要使頭腦的下意識部分考慮這

一問題，必須先連續數日自覺地(或是刻意的)思考這一問題。當然，頭腦中思考的資料愈是針對問題，作出結論的可能性也越大。

(2) 擺脫分散注意力的其它問題，特別是有關私生活的煩惱，這是一項重要的條件。普拉特和貝克在談到這兩項先決條件時說：『即使你在上班時間把自覺的思考非常認真地用於工作，但如果對自己的工作沉迷不移，不能使思想一遇機會就下意識地去想它，或讓一些更緊迫的問題把科學問題擠了出去，那麼，得到直覺的希望也是不大的。』

(3) 另一有利條件是不受中斷，甚至無被中斷之虞，並擺脫一切使人分心的因素，如室內的有趣對話或突然發出的聲音。

(4) 多數人發現：在緊張工作一段時間以後，悠遊閒適和暫時放下工作的期間，更容易產生直覺。據有些人說：直覺最經常發生在從事不費腦力的輕鬆活動，諸如鄉間漫步、沐浴、剃鬚鬚、上下班的時候，或許因為這時思維不受干擾，不被中斷。自覺的思考不很緊張，故不會壓制下意識思想中產生的有趣想法。有些人覺得躺在床上的時候最有利，有些人有意在睡前回憶一遍問題，有些則在早上起身之前：有些人認為音樂具有有益的影響，但值得一提的是：認為自己受益於吸煙、喝咖啡或飲酒者寥寥無幾。一種樂觀的精神狀態可能是有幫助的。

(5) 與別人接觸對思維活動有積極的促進作用：(i) 與同事或與一個外行人進行討論；(ii) 寫研究報告或做有關的演說；(iii) 閱讀科學論文，包括與自己觀點不同的論文。在閱讀與本題無關的論文時，可吸收其技巧或原理之根據的概念，而這種概念可能會油然再現，成為與自己工作有關的直覺。

(6) 討論了有意識尋求直覺的思維方法以後，還留下一個重要的實際問題。人們都有這樣的體會：新想法常常瞬息即逝，必須努力集中注意，牢記在心，方能捕獲。一個普遍被使用的好方法是養成隨身攜帶紙筆的習慣，記下閃過腦際且有獨到之見的念頭。據說愛迪生 (Thomas Edison) 習慣於記下想到的每一個意念，不管這個思想當時似乎多麼微不足道。許多詩人和音樂家也用這個方法，如達文西 (Leonardo da Vinci) 的筆記就是在藝術中，筆記妙用的範例。睡眠中出現的想法特別難於記憶，有些心理學家和科學家手邊總帶著紙筆，這對於捕捉出現在睡前醒後的意念也是有用的。在閱讀、寫作或進行其它不宜中斷的腦力活動時，概念常常出現在意識的邊緣。這些概念應立即草草記下，這樣做不僅保存了這些概念，而且達到將它們『置於腦後』的目的，以免干擾主要的問題。要集中注意力，就不能讓思想被停滯在意識邊緣的概念所干擾。

(7) 我已經提到了三種非常重要的不利因素：中斷、煩惱以及分散注意力的其它興趣。作好思想準備，使頭腦高效率地思考問題，同時在意識的邊緣持有大量有關的資料，做到這點需要時間。中斷會破壞這種微妙的心理狀態，破壞情緒。還有，腦力和體力上的疲勞，工作過度(特別是在壓力下工作)，小的刺激以及確實起干擾作用的噪音，都能影響創造性的思考。這些看法，與第十一章所述，有時最優秀的研究是在逆境和精神緊張中作出的看法並不矛盾。在第十一章中，我主要指的是那些生活中根源極深的難題，這類難題往往驅使人們工作，以便逃避現實。而本章中我談的則是日常生活中的直接問題。

## 科學鑒賞力 *Scientific taste*

討論『科學鑒賞力』的概念在此似乎最適宜。哈達馬等人進行了有趣的觀察，說恰如文學鑒賞力的存在一樣，也存在著一種科學鑒賞力。戴爾談到了『我們稱之為本能判斷的下意識推理』，奧斯瓦爾德提及『科學本能』，有些人在這方面用『直覺』、『感覺』等詞表示同樣的意思，但以我之見不如稱其為『專業鑒賞力』更正確。這也許與某些科學家所喜歡用的『個人判斷』一詞同義，但我認為『個人判斷』還不如『鑒賞力』說明了這個問題。也許更確切地說，鑒賞力是以個人判斷為依據的東西。

也許最好把鑒賞力描述為美感或審美敏感性，其是否可靠，取決於個人。具有鑒賞力的人僅僅是感覺到某一方面的工作有價值，值得深入研究，但也許並不知其所以然。感覺的可靠程度如何，完全取決於結果。科學鑒賞力的概念還可有另一種解釋：善於發現具有發展前途的研究方向的人，比其他的人更具有遠見，他能預見研究工作可能產生的結果，因為他具有運用想像力遐思遠望的習慣，而不把自己的思想局限於已有的知識和眼前的問題。他也許不能明確說出緣由，或形成具體的假設，因為他看到的也許只是模糊的暗示：一兩個關鍵的問題可能會由此而得到解決。

非科學性事務上的鑒賞力，表現在寫作時的遣詞造句。人們很少通過語法分析來檢查語言是否正確，通常我們只是『感覺』到句子對不對。優美確切的英語，大半是自然產生，歸功於我們經由遣詞造句訓練得來的鑒賞力的作用。在科學研究中，鑒賞力在以下幾方面起著重要作用：選擇有前途的研究題目、識別有希望的線索、產生直覺、在缺乏可供推理的事實時決定行動方案、捨棄必須大加修改的假設、並在未獲決定性佐證時形成對新發現的看法。

雖然人們所具有的科學鑒賞力與其他方面的鑒賞力一樣，程度可能各不相同。但是，也可以經由訓練自己對科學的理解，如熟悉有關獲得新發現的經過，來培養這種鑒賞力。與其它鑒賞力一樣，科學鑒賞力只有在真正熱愛科學的人們中才能發現。我們的鑒賞力來自別人的經驗、自己的經驗和思想這三者全部的總和。

也許有些科學家覺得難以理解鑒賞力這麼抽象的概念，有些人則認為不能接受，因為科學家的全部訓練宗旨在使他能免除工作中的主觀因素。沒有人反對排除主觀因素對實驗、觀察和技術步驟干擾的這一原則。但在科學家的思想上，這樣的原則能貫徹到什麼程度還有待討論。多數人不知道：常常自認為以推理為根據的許多觀點，實際上只不過是合理化了的成見或主觀動機而已。有相當部分的科學思維，並沒有足夠的可靠知識作為有效推理的依據，而勢必只能憑借鑒賞力的作用來作出判斷。在研究工作中，我們常常被迫對直接證據不足的問題採取行動。因此，與其欺騙自己，不如正視主觀判斷這一事實，並接受科學鑒賞力這一似乎有益的概念。我認為這樣做是明智的。但是，接受這一概念並不等於說，在有充分的佐證足以作出客觀推理的判斷時，也採取鑒賞力來指導科學研究。我們決不能讓『科學鑒賞力』這樣的詞語迷住眼睛，從而看不見一切主觀思維所具有的危險。

## 提要 *Summary*

直覺此處意指突然躍入腦際的、能闡明問題的思想。直覺並非絕對正確。

最有利於產生直覺的條件如下：(1) 必須對問題的持續自覺思考來作思想上的準備。(2) 使注意力分散的其他興趣或煩惱有礙於直覺的產生。(3) 多數人的思維必須不受中斷和干擾。(4) 直覺經常出現在不研究問題的時候。(5) 通過諸如討論、批判的閱讀或寫作等與他人進行思想溝通，對直覺有積極的促進作用。(6) 直覺來無影去無蹤，因此必須用筆記下。(7) 除中斷、煩惱和分散精力的其它興趣外，不利的影響還有：腦力和體力的疲勞、對問題的工作過度、瑣事的刺激以及噪音的干擾。

在科學研究中，我們的思想和行動常常不得受以科學鑒賞力為依據的個人判斷的指導。

## 第七章 推理 Reason

新發現的獲得應是一種奇遇，而不是思維邏輯過程的結果。敏銳、持續的思考之所以有必要，是因為它能使我們始終沿著選定的道路前進，但並不一定會通向新發現。

- 西奧博何德·史密斯 -

推理的限度與危險·運用推理注意事項·推理在研究的作用·提要

### 推理的限度與危險 *Limitations and deficiencies*

在論及科學研究中推理的作用之前，先討論一下推理的局限性，可能會有益處。人們對這些問題的嚴重性往往估計不足，因為我們的科學概念得自教師和著作家，他們是按照邏輯上的安排，而很少是根據實際獲得知識的方式來闡述科學的。

日常經驗和歷史都告訴我們，在生物學和醫學中，推理的過程超越事實而不誤入歧途是極罕見的事。主宰中世紀的經院哲學和權威主義與科學格格不入、全然不同。文藝復興時期，人們的觀點有所變化：按照事物的本來面目去觀察事物的強烈願望，取代了那種事物應該且必須按照公認的觀點（大多源於經典著作）而表現的信念，人類的知識再度有所發展。培根對科學的發展有很大的影響，我認為這主要是由於他證明了絕大多數的新發現是憑經驗，而不是通過運用演繹邏輯作出的。一六〇五年他說：『人類主要憑借機遇或其它，而不是邏輯，創造了藝術和科學。』一六二〇年，他又說：『現存的邏輯方法僅有助於證實並確立那些建立在庸俗觀念基礎上的謬誤，而於探求真理無補，因而弊多利少。』

後來，法國哲學家笛卡兒使人們認識到推理能導致無窮的謬誤。他的金科玉律是：『除非其真實性顯而易見、毋庸置疑，否則，決不可絕對贊同任何主張。』

所有的兒童，其實我們甚至可以說所有的幼年脊椎動物，都發現了萬有引力。然而，現代科學的全部知識竟然無法圓滿地『解釋』這種現象。推理和邏輯作為一種方法，若沒有相關的經驗知識，不僅不足以發現萬有引力，而且，即使是古代希臘羅馬時期使用的全部推理和邏輯，也未曾使當時的智者正確地推斷出有關萬有引力的基本事實。

現代哲學家席勒 (C.S. Schiller) 對於邏輯在科學中的運用有過精闢的評論，此處我將詳細援引：『對科學行動步驟進行邏輯分析，實在是科學發展的一大障礙。... 邏輯分析沒有去描述科學實際發展所憑藉的方法，並且沒有得出 ... 可用以調整科學發展的規則』而是任意按照自己的偏見，重新安排了實際的行動步驟，用求證的過程代替發現的過程。』

寫作科學論文所普遍採用的方法，助長了人們對邏輯學家觀點的信賴。通常採用的那種邏輯上必然的提出結果的方法，既不是按照時間先後，又不是詳盡地說明實

際進行研究的經過，因為這樣做就常常會沉悶費解，而且從常理來看也浪費筆墨。奧爾伯特在他有關科學論文寫作的書中，特別主張不寫研究經過而按推理敘述。

這裏我們再次引用席勒的話，他採取激進的見解：『科學家越推崇邏輯，他們推理的科學價值就越低，這樣說是絕不過分的。... 然而，使社會感到幸運的是：絕大多數科學偉人幸而對邏輯傳統概念一無所知。』

他接著說，邏輯學是從希臘學校、集會以及法庭中的辯論而發展起來的。在那種地方，必須判斷誰勝誰負，邏輯學即服務於此目的。但是，人們不應因邏輯學全然不適用於科學而感到詫異，因為邏輯學的目的本不在此。許多邏輯學家慎重地指出：邏輯學所關係的是正確性與確實性，與創造性思維完全無關。

席勒進而批評說：傳統邏輯學不僅對獲得新發現沒有什麼價值，而且，歷史已經證明，在新發現公布以後，對於認識其確實性並保證其為公眾接受上也沒有什麼價值。確實，邏輯推理常常有得於接受新的真理，偉大的發明家常受迫害的事實就證明了這一點。

『人類獲得新發現之艱苦緩慢，以及對於在無準備或不希望它們發生的情況下而發生的那些最明顯的事實視而不見，這種種當足以證明邏輯學家對新發現的解釋有著嚴重的缺陷。』

席勒主要反對的是十九世紀下半紀某些邏輯學家闡述科學方法的觀點。大多數研究科學方法的現代哲學家，並不把尋找新發現的藝術包括在科學方法內，他們認為這不屬於他們研究的範疇。他們關心的是科學的哲學含義。

關於推理在科學知識發展中所起的不良作用，特羅特也說了幾句逆耳之言。他說：與經驗法比較，不僅運用推理找到的新發現寥寥無幾，而且科學的發展常因以推理為依據的錯誤教條而受阻礙。特別在醫學方面，全憑推理為基礎的習慣做法，往往流行了幾十年或幾百年，才有一個敢於獨立思考的人提出疑問，而且在很多情況下他都證明這些做法害多益少。

邏輯學家將歸納推理（即從個別事例到一般原則，從事實到理論）和演繹推理（即從一般到個別，將理論運用於具體事例）區分開來。進行歸納的時候，人們從觀察得到的資料出發，加以概括，從而解釋所觀察到的事物之間的關係。而在運用演繹推理時，人們從某一普遍法則出發，將其運用於具體事例。因而演繹推理得出的結論是受原始前提制約的，原始前提如正確，結論也就正確。

由於演繹法是將一般原理推廣應用於其它事例，就不可能導出新的概括，因而也不可能在科學上作出較大的進展。另一方面，歸納過程雖然可靠程度不夠，卻較富於創造性。其富於創造性是由於歸納過程是得出新理論的一種方法，而其可靠程度不足則是由於從搜集到的事實出發，往往可以引出好幾種可能的理論。由於其中有些可能互相矛盾，所以不可能全部正確，甚而可能全部都不正確。

在生物學中，由於每一種現象、每一個條件都非常複雜，人們對其認識又不夠，

所以前提不一定正確，因而使得推理不可靠。就推理而言，大自然往往太難以捉摸了。在數學、物理學和化學方面，基本前提建立得較為牢固，附隨的條件可較嚴格地規定和控制；因而，推理對於這幾門學科的發展起了主要的作用。雖則如此，數學家彭加勒說：『邏輯學與發現、發明沒有關係。』普朗克和愛因斯坦也說過類似的觀點。這裏的問題是：通常，我們是憑直覺而不是憑借機械地運用邏輯來作出歸納，而且，我們的思路經常受到個人判斷的支配。另一方面，邏輯學家關心的不是思維作用的方式，而是邏輯上的系統闡述。

達爾文發現他的假設總不免要被捨棄或至少要大加修改，從這樣的經驗中他知道了：在生物科學方面，演繹推理是不能信賴的。他說：『我必須從大量事實出發，而不是從原理出發，我總懷疑原理中有謬誤。』

由於很難給術語下確切的定義，由於前提很難做到準確而絕對無誤，這就給在科學研究中運用推理造成了一個基本的困難。尤其是在生物學中，前提往往只在一定的條件下才成立。為了推理的審慎和思維的清晰，人們必須首先規定所用的術語，然而在生物學上，經常很難或甚至根本無法規定精確的定義。以『流行性感冒是由病毒引起的』一語為例，流行性感冒原為一種臨床概念，節根據臨床症狀規定的疾病。我們現在知道，由好幾種不同的微生物引起的疾病，都包括在醫生所說的流行性感冒之列。而現在，病毒工作者更主張把流行性感冒稱為由具備某些特徵的病毒所引起的疾病。但這樣做只不過是把規定流感定義的困難，變成了規定流感病毒定義的困難，而對流感病毒也是很難規定準確定義。

如果我們接受下述原則：即所謂推理僅是就其成立的可能性而言，則這種困難可在一定程度上得到解決。確實，生物學上的很多推理如稱為猜測更為貼切。

我已經指出了科學中運用邏輯作用的某些限度；造成謬誤的另一個常見的原因是不正確的推理，例如犯有某種邏輯上的錯誤。以為推理容易，無需訓練或只要多加小心就行，這是自欺欺人之談。下一節中要略述幾項一般性的注意事項，以供在科學研究中運用推理時參考。

### **運用推理注意事項** *Some safeguards in use of reason in research*

首先應檢查推理出發的基礎，這包括盡可能確認我們所用術語的含義並，檢查我們的前提。有些前提可能是已成立的事實或定律，但有一些可能純粹是假設。常常有必要暫時承認某些尚未確立的假定，但是在這種情況下，切不可忘記這些僅是假設而已。法拉第警告說：思維有『依賴於假定』的傾向，一旦假定與其它知識符合，就容易忘記這個假定尚未得到證明。人們普遍認為：應把未證明的假定保持在最低限度，並以選用假定最少的假設為宜。這叫『簡約主義』，或稱奧坎剃刀 (Occam's Razer)，是十四世紀奧坎的威廉 (William of Occam) 所創。[譯註：英國哲學家。他所創的盡量節省主義是說：當時驗取得的事實能夠得到說明時，不應增添不必要的假設，應把它一剃而盡，此說後被稱為奧坎剃刀。]

未經證實的假定常由『顯然 obviously』、『當然 of course』、『無疑 surely』等詞句引入，很容易潛入推理。我原以為：營養充足的動物比營養不良的動物平均壽命更長，是一個比較可靠的假定。但是，在最近的實驗中證實，食物受到限制，以至生長率低於正常生長率的老鼠，比食物不受任何限制的老鼠壽命要長得多。

對推理出發的基礎有了明確的認識以後，在推理中，每前進一步都必須停下來想一想：一切可以想像到的對象是否都考慮到了。一般來說，每前進一步，不確定的程度亦即假想的程度也就越大。

絕不能把事實與對事實的解釋混為一談，也就是說，必須區別資料與概括。事實就是所觀察到的，關係到過去或現在的具體資料。舉一個明顯的例子：某種藥物可使家兔致死，這也許是一個事實，但若要說這種藥物對家兔有毒，就不是事實的說明，而是通過歸納作出的概括 (generalization) (或定律)。英語中，從用過去式改用現在式，往往意味著從事實跨入歸納。這是一個經常要採取的步驟，但這樣做的時候必須十分清醒和自覺。對結果的解釋方式也有可能造成混亂：嚴格地說，實驗中出現的事實只能確切地通過說明其經過情況來加以描述。往往在描述實驗時，我們將結果解釋成別的東西，而這時或許還未意識到自己已經離開了對事實的說明。

在科學研究中我們始終面臨著這樣一個困難：我們不但要為過去和現在作證明，而且要為將來作證明。科學若要有價值，就必須能預測未來。我們必須根據過去的實驗和觀察所得的資料進行推理，並要為未來作出相應的安排。這就給生物學造成了特殊的困難，因為由於知識不足，我們很難肯定將來的環境變化不會對結果發生影響。以對一種疾病新疫苗的試驗為例。這一疫苗可在幾個實驗中都證明有效，但我們仍不敢斷言將來也會有效。在一九四三和一九四五兩年美國大規模試驗中具有很好預防作用的流感 (感冒) 疫苗，在一九四七年流感再次流行時無效。從邏輯學的角度來看，我們根據資料，運用歸納、推理，得出了概括 (如疫苗有效)。然後，到了將來，我們想要預防該疾病時，就用演繹法把得到的概括定律，應用於保護某些人不受感染這一實際的問題上。推理中的難點自然是歸納，邏輯學在此幫不了大忙。在搜集到廣泛的資料足以使歸納具有廣闊的基礎之前，我們只能避免去做概括，並把任何以歸納為依據做出的結論看成是試驗性的，或者，用俗話說，就是不要輕易下結論。在由資料得出結論時，統計學幫助我們保證結論有一定的可靠程度。但即使是統計上的結論，也只有在應用於已經出現的現象時，才是嚴格有效的。

概括定律是永遠無法證實的，我們只能思考由概推 (deduction) 得出的結論是否與實驗和觀察所得到的事實相吻合，來加以檢驗。如果結果與其所預測的不同，則假設或概括可被推翻；但符合預測的結果並不能證明概括絕對正確。因為在概括不正確的情況下，由此得出的推論也可能正確；本身是正確的推論可能根據顯然荒謬的概括定律做出來的。例如遠避邪靈附身的病人就能不患鼠疫這一推斷的正確，並不能證明鼠疫是邪靈所致這一假設的正確性。在嚴格的邏輯學中，概括定律是永遠不能得到證實的，有待無限期的驗證。但是，如果無法證明某一概括定律不正確，特別是如果它符合更為廣義的理論概念的話，則該概括即在實踐中被接受。〔譯注：在我們視察四周的事物時，發現 A 鐵棒加熱後變長了，同時也發現 B 鐵棒、C 鐵棒、D、E ... 鐵棒加熱後都有

相同的現象，由此，我們利用歸納法得出一條定律：『所有的鐵棒加熱後都會變長』，這種推論的過程稱之為『概推』，這個結論稱之為『概括定律』。概括定律是依據有限的個例推論出來的，所以它永遠無法得到證實，我們只把它當作一種假設而已，如果有一天我們找到了一個相反的例證，它就被推翻了。我們現在所接受的概括定律只因為我們無法推翻它，所以暫時承認它而已。]

如果科學的邏輯證明：我們自己在進行概推時必須謹慎小心，那麼出於同樣的理由，對於任何概括定律我們都不能過於信任，即使普遍接受的理論或定律也是如此。牛頓並不把他所陳述的定律視為最終的真理，但也許他的大多數追隨者卻是這樣看的，直至愛因斯坦才證明牛頓的審慎態度是很有道理的。在一些重要性稍遜於此的問題上，一些普遍被接受的觀念，最終被取代的事件更是屢見不鮮。

因此，科學家絕不能容許自己的思想固定不變，不僅自己的見解不能固定不變，而且對待時下流行觀點的態度也不能不變。史密斯說：『歸根結底，科學研究是對現今思想和行動所依據的學說及原理，不斷檢驗的一種思維活動，從而它對現存的觀念是抱批判態度的。』任何公認的觀念或『確立的原則』，一旦不符合觀察到的現象，都不能被視為正確的。貝爾納寫道：『我們不能僅僅根據某一想法不符合一種盛行理論的邏輯演繹而予以拋棄。』許多偉大的發現都是由於全然不願公認的信念來設計實驗而獲得的。很明顯，是達爾文首先運用『蠢人實驗』一詞，來指那些花費極大精力去實驗別人不屑一顧的實驗的人。

從事別的行業的許多人，可以任憑自己抱有固定的觀念和成見，以便考慮問題時可以少費腦筋，而且，對我們大家來說，在日常生活的很多問題上持有一定見解，也是實際所需。但是科學研究工作者在科學上，必須力圖保持頭腦的適應性，避免抱一成不變的觀點。我們必須力圖使頭腦保持豐富的接受能力，力圖公正客觀地審察別人的建議，搜尋贊成的和反對的兩種觀點。我們當然必須抱批判的態度，但也要警惕，勿讓不自覺的反應使自己只看到反對的觀點，從而拋棄了某些想法。人們特別容易抗拒那些不符合自己看法的觀點。

科學家應該養成一種好習慣，決不信賴以推理為唯一依據的想法。正如特羅特所說，這類想法出現在頭腦中往往顯得明顯、肯定，容易使人警覺心鬆懈。有些人認為除運用數學符號的推理外，根本不存於純推理：實際上，一切推理都受感覺、偏見和過去經歷的影響，儘管這種影響常常是下意識的。特羅特寫道：『公正的有才識之士、開放的思想家、沒有偏見的觀察者，在確切的意義上，僅僅存在於智力活動的傳說之中。甚至接近這種境界的狀態，若不付出一種我們大多數人不可能或不願意付出的道義力量和感情力量，亦是無法達到。』

心理學家所熟知的一種思維技巧是『合理化』，即用推理的證據為某種觀點論證，這種觀點在現實中由先入之見在下意識中形成，而頭腦的下意識部分則為私利、感情用事的考慮、本能、偏見，和其他通常自己並不覺察或甚至自己也不承認的類似因素所支配。喬治也做了類似的警告，讓人們切勿相信這樣的觀點：以為大自然中的事物應該符合一定的格式或標準，並把一切例外情況看成是不正常的。他說，在科學

研究中沒有這種『應該-必須』的位置，將其全盤拋棄才能為科學奠下基石。他認為，在認識到『應該-必須』式的思維方法之弊病前，去考慮實驗的技巧是為時過早的。

有人說科學家應該訓練自己對本身的工作抱淡漠態度。我不敢苟同，我認為研究人員應有足夠的自制能力，來公允地評斷與自己熱切希望的結果不符的論證，而不是一昧的採取淡漠態度。我們應該承認並正視願望可能影響推理這方危險。同時，不讓自己享受自己想法的樂趣也是不明智的，因為這樣做就破壞了科學的一個主要推動因素。

區分『內插法』和『外推法』是十分重要的。內插法是在一系列已確立的事實間填補所留的空白。人們在圖表上把點連成曲線時使用的是內插法。外推法是根據同一假設所蘊含的道理，延拓到一組未被觀察過的事件上，只要有足夠的數據做證據，在大多數情況下是允許使用內插法的；但使用外推法則危險要大得多。理論如果明顯越出已經試驗的範疇，就往往把我們引入歧路。外推法的作用頗近於蘊涵法，外推法在提出建議時是有用的。

將可以得到的全部資料寫成一篇文章，對弄清問題很有幫助。在開始著手研究或者遇到困難，以及研究將近結束時，這樣做都是有益的。同時，在研究工作開始的時候，明確地列出幾個需要解答的問題，是很好的做法。確切地陳述問題，有時就是向解決問題的方向邁出了一大步。系統地排列資料常能暴露推理中的缺陷，或揭示未曾想到的思路。最初因似乎『明顯』而接受下來的假定和結論，一旦被明確地列出，並受到批判的考查後，甚至可能變得不能成立。某些研究機構定立制度，要求全體研究人員每度報告一次已完成的工作和計劃中的工作。這不僅有利於領導人員了解工作進展情況，而且對研究人員本身也是有益的。有些領導人更願意工作人員作口頭報告，他們認為口頭報告更有助於工作人員『明瞭自己的想法』。

細心、正確地使用語言對明瞭思想是有力的幫助，因為要精確表達自己的意思，就必須從思想上明瞭自己的意思。我們是用語言進行推理的，而寫作則是思想的表現，寫作的訓練和培養也許是推理方面的最好訓練。奧爾伯特說：草率的寫作反映了草率的思想，而含混的寫作則往往混淆思想。科學報告的主要要求是力求清晰、精確，使每個句子準確貼切，不容易造成誤解。含義不確切的詞句當避免使用，因為人們一旦給某物命名以後，就立刻產生問題已經澄清的感覺，而實際上往往適得其反。『掩蓋無知的語言外衣，往往是阻礙進步的服飾。』

### **推理在研究的作用** *The role of reason in research*

雖然新發現大多來自意想不到的實驗結果或觀測現象，或者來自直覺，而很少直接從邏輯思維產生，但是，推理在科學研究的其它許多方面還是起重要作用的，而且是我們大多數行動的指南。在形成假說時、在判斷由想像或直覺而猜出的想法是否正確時、在部署實驗並決定作何種觀察時、在評定佐證的價值並解釋新的事實時、在作出概括定律時以及最後在找出新發現的拓廣和應用時、推理都是主要的手段。

研究工作中，發現與求證在方法和功能之不同，恰如法庭上偵探和法官之不同。研究人員追蹤線索時，是扮演偵探的角色，但是一旦抓到了實據，他就變成了法官，根據邏輯方法安排的佐證來審理案件。兩種職能都是必要的，不過作用是不同的。

觀察在機遇，亦即經驗，在生物學的發現中，有非常重要的作用。但是，一般來說，由觀察或實驗獲得的事實，僅僅在我們運用推理將其結合到知識的總體中去時，才具有重要意義。達爾文說：『科學就是整理事實，以便從中得出普遍的規律或結論。』在研究中僅僅搜集事實是不夠的，解釋事實，並看到其重要性和必然結果，常常能使我們深入一大步。沃爾什 (F.M.R. Walshe) 認為，與獲得新發現同樣重要的是：如何對待自己的新發現以及人家的新發現。我們的頭腦需要有一個合理的、邏輯貫通的知識總體，以便有助於保存和運用資料。傑克遜說：『我們具備大量的事實，但是，隨著事實的積聚，必須將它們組織整理，提昇為更高深的知識；我們需要的是概括定律，它是為某一理論提出的假設。』認識到一個新的普遍原則才是科學研究的終結。

由所謂的機遇觀察，由意想不到的實驗結果，或者由直覺得出的新發現，比由純推理的實驗取得的進展更富有戲劇性，更引人注目。在推理的實驗中，每一步都是前一步推理的結果，因而，新發現是逐步展現的。因此，按照這種不那麼引人注目的過程所取得的進展，可能比本節其它章節所述的那種進展要多得多。此外，正如津澤所說：『將較次要的發現和精確觀測到的各種細節逐漸積累起來，這種準備工作 ... 對於推動科學發展有著重要意義。其重要性絕不亞於天才的遠見，定期把支離破碎的觀察現象聯繫起來使之成為原理和定律，對科學發展所起的推動作用。』通常，當人們追溯某一新發現的起源時，就會發現這是一個比人們想像更大的漸進過程。

在營養學研究方面，各種維生素的存在，在很多情況下是憑借經驗發現的，但是在這以後，有關維生素知識的進展則是靠推理了。在化學療法研究方面，通常，繼最初的經驗性發現，開闢了新天地以後，便由推理的實驗作出一系列改進，例如：磺胺藥是我們發現的具有抑制細菌功能的第一種化合物，繼發現磺胺的療效以後，又相繼用推理的實驗製成了其它衍生藥物。

如我們在附錄中所述，弗萊明從一次偶然觀察到的現象出發，發現了青黴素能產生具有抑菌效能而無毒性的物質。但是他未能深入下去製成一種化學藥物，研究就此中斷。自十九世紀七十年代至本世紀初期，有幾十篇文章報告發現，由細菌和真菌產生的抗菌物質，甚至青黴素本身也早在弗萊明或弗洛里之前就已發現。許多報告的著者不但建議這些物質可以用於治療，而且已經這樣做了，有些還似乎取得了很好的治療效果。但所有這些經驗性的發現都未產生重要影響。最後，弗洛里有意識、有計劃、有步驟地研究這個問題，製成了比較純淨穩定的青黴素，至此，方證實其巨大的治療價值。情況經常是如此：最初的發現，猶如取自礦山的原礦石，在未經提煉、充分發展之前，價值是很小的。提煉發展的過程不那麼引人注目，而且很多的實驗是由已證實的假設出發，推衍出可供實驗的論證型式，從而再加以實驗證明，這通常需要某一類型的科學家，或是由許多科學家的合作來完成。推理在科學研究中的作用，與其說是開拓知識的新疆界，不如說是發展開拓者發現的成果。

還有一種推理有待一提，即用類比法推理，這在科學思維中有著重要的作用。類比是指事物之間的關係相似，而不是指事物本身之間的相似。如果發現 A 與 B 之間的關係，在某一點上類似 X 與 Y 之間的關係，並且知道 A 在其它幾個方面同 B 有聯繫，則可在 X 和 Y 之間尋找類似的聯繫。類比法在提出線索或假設，以及幫助理解無法看到的現象和情況方面，有著十分可貴的作用。類比法在科學思維和語言中是經常運用的，但也必須牢記：類比法也常使人誤入迷途，另外，用類比法當然是無法作出任何證明的。

也許此處應該提一下，現代自然科學哲學家避免使用因果的概念。目前流行的觀點是：科學理論旨在描述事件之間的聯繫，而不把這種關係解釋為因果關係。『原因』這個概念，含有內在必然性的意思，造成了哲學上的困難。而且，在理論物理學上，最好拋棄這一概念，因為已經不再需要闡明因果之間的關係了。因此，從這個觀點出發，科學僅自限於描述『如何 how』，而不描述『為何 why』。

這種觀點特別是在理論物理學方面得到了發展。在生物學方面，我們在實際中仍然應用因果的概念，但是，當說到某一事件的發生原因時，實際上是把複雜的情況過於簡單化了。產生某一事件的原因很多，但是在實際中我們總是把那些始終存在，或為人熟知的因素加以忽略或理所當然的，只挑選出一個不同尋常的因素，或特別引人注意的因素作為該現象的原因。一場鼠疫突然蔓延的原因，在細菌學家看來可能是病人血液中生存的微生物，在昆蟲學家看來是攜帶微生物傳播疾病的跳蚤，在流行病專家看來則是從船上流竄上岸，並把傳染病帶到港口的老鼠。

### 提要 Summary

推理不能導致新發現。推理在研究工作中的作用不是作出事實性或者理論性的發現，而是證實、解釋並發展它們，並形成一個具有普遍性的理論體系。絕大多數的生物學『事實』和理論僅在一定條件下成立，而限於我們知識的不足，我們至多只能根據很可能發生和有可能發生的概率進行推理。

## 第八章 觀察 Observation

知識源自我們對周圍事件中相似處和重現情況的注意。

- 威爾弗雷德·特羅持 -

實例·觀察的原則·科學的觀察·提要

### 實例 *Illustrations*

巴斯德很想知道有的地方為什麼不斷發生炭疽病，而且總是發生在同樣的田野裏，有時相隔數年之久。巴斯德從已埋在地下十二年之久、死於炭疽病的羊屍體周圍土壤中，分離出這種病菌。他奇怪這種有機體為什麼能這樣長時間地抗拒日照以及其他不利於生存的因素。一天巴斯德在地裏散步時，發現有一塊土壤與周圍顏色不同，遂請教農民。農民告訴他，前一年這裏埋了幾隻死於炭疽病的羊。

『一向細心觀察事物的巴斯德注意到土壤表層有大量蚯蚓帶出的土粒。於是他想到蚯蚓來回不斷從土壤深處爬到表層，就把羊屍體周圍含有腐質的泥土以及泥土中含有的炭疽病芽胞帶到表層。巴斯德從不止步於想法，他立刻進行了實驗。實驗結果證實了他的預見，接種了蚯蚓所帶泥土的豚鼠得了炭疽病。』這個例子很好地說明了直接親身觀察的價值。如果巴斯德坐在安樂椅中思索，那就不可能弄清流行病學中這個有趣的問題。

一天，有人給貝爾納的實驗室送來了幾隻剛從市場上買來的兔子。貝爾納注意到實驗桌上兔子排的尿清亮而帶酸性，不像尋常食草動物那樣混濁而帶鹼性。他推斷，多半由於沒有餵食，兔子從自己身體的組織中吸取養分，因而處於食肉動物的消化狀況。他用餵食和禁食互相交替的方法證實了這個觀點，這種作用過程果然使兔尿反應發生了預期的變化。這是一次精采的觀察，多數研究人員也就心滿意足了，但貝爾納卻不然。他要求『反證』，於是用肉餵食兔子。果然不出所料，兔尿呈酸性，貝爾納為了完成這項實驗最後對兔子作了解剖。用他自己的話說：『我偶然注意到白色乳狀的淋巴液，初見於離幽門約三十厘米處十二指腸下部的小腸中。這引起了我的注意，因為在狗的身上淋巴液初見於十二指腸的上部緊靠近幽門的地方。』再仔細觀察，他看到胰導管的開口與淋巴液開始含有白色乳糜的位置一致的，脂肪質的乳狀液使這種乳糜成為白色。這樣就發現了胰液在脂肪消化中的作用。

達爾文說過一件事，敘述他和一個同事在探測一個山谷時，如何對某些意料之外的現象視而不見：『我們倆誰也沒有看見我們周圍奇妙的冰河現象的痕跡；我們沒有注意到具有明顯痕跡的岩石，聳峙的冰河巨礫、側堆石和終堆石。』這些現象並沒有被人注意到，因為這些既不是意料之中的，又不是特地去尋找的現象。

巴斯德在觀察引起酪酸醱酵的細菌運動時，注意到當它們接近滴液邊緣時會停

止了運動，他猜測，這是由於接近空氣處的液體裏有氧氣存在。從這一點出發，他做出了具有深遠意義的推斷：沒有氧氣生命也能生存。這一點在當時被認為是不可能的。進而，他闡明了醱酵是一種代謝過程，通過這一代謝過程，微生物從有機物質中得到氧氣。這些日後被巴斯德所證實的重要想法，起源於他對細節的觀察，而很多人對這種細枝末節是會忽視的。

第三、四章及附錄中引用的許多小故事，也說明了觀察在科學研究中的作用。

### 觀察的原則 *Some general principles in observation*

喬治在談到目擊者觀察日常生活現象之全然不可靠性時說：『觀察到什麼現象取決於觀察者是什麼人。要使觀察者之間意見一致，必須保證：他們注意力十分集中，他們不應覺得自己的生命受到威脅，他們主要的生活必需品得到滿足，且不能出其不意使他們驚慌失措。如果他們觀察的是短暫的現象，必須使其重複多次，觀察者最好不僅注視而且必須搜尋每一個細節。』

為了說明很難作出細緻的觀察，喬治講了下面的故事：在戈廷根 (Göttingen) 一次心理學會議上，突然從門外衝進一人，後面追著一個手裏拿看手槍的人。兩人正在屋子中央混戰時突然響了一槍，兩人又一起衝了出去。從進來到出去總共二十秒鐘：主席立即請所有的與會者寫下他們目擊的經過。這件事是事先安排，經過排演並全部照下相來的。儘管這種情況與會者當時並不知道，在交上的四十篇報告中，只有一篇錯誤少於百分之二十，有十四篇有百分之二十到四十的錯，有二十五篇有百分之四十以上的錯誤。特別值得一提的是：在半數以上的報告中百分之十或更多的細節純屬臆造。這次觀察儘管效果很差，但條件是有利的，因為整個經過十分短暫，情節氣勢足以引起人們注意，細節又是事後立刻記下，記錄者都慣於作科學觀察的，並且他們與此事件都無個人牽連。心理學家常作這類實驗，其結果大體雷同。

要懂得觀察：也許首先必須知道：觀察者不僅經常錯過似乎顯而易見的事物，而且更為嚴重的是，他們常常臆造出虛假的現象。虛假的觀察可能由錯覺造成，出現錯覺時感官使頭腦得出錯誤的印象，或是頭腦本身滋生了謬誤。

各種幾何圖形能造成視覺上的錯覺，光在水、玻璃及熱空氣中折射造成的變幻，也使人產生視覺上的錯覺。視覺觀察不可靠之最突出的例子就是魔術師的戲法。還有，將一手浸入熱水，一手浸入冷水，幾分鐘後把兩手都浸入溫水之中，也說明感覺器官會提供假象。古代希臘歷史學家希羅多德 (Herodotus) 曾記載過一個這類性質的荒謬現象：『這條溪水清晨是溫和的，當市場熱鬧起來時水涼了許多，到中午已經很冷了。因此人們此時澆花灌水。下午日頭向西，溪水的溫度又些微回升，到太陽落山時，溪水又變得溫和起來。』實際上水溫保持不變，變化的是隨着氣溫而變的水與空氣的溫差。聲音上的錯覺也會造成類似錯誤的觀察。

在記載和報告觀察到的現象時，產生的第二種謬誤是頭腦本身滋生的。許多這類錯誤之所以出現，是由於頭腦容易無意識地根據過去的經歷、知識和自覺的意願去

習慣性的臆想。歌德曾說：『我們見到的只是我們知道的。』

俗話說：『我們容易看到眼睛後面，而不是眼睛前面的東西。』描寫獅子追逐黑人的電影就是一例。鏡頭時而出現獅子追逐，時而出現黑人逃命的跑，幾次重複以後，最後我們看到獅子往深草中的一個東西躍去，雖然銀幕上並未同時出現獅子和人的形象，但是大部分觀眾相信自己確實看見獅子向人撲去，甚至有人嚴肅地抗議不該犧牲土著拍攝這樣的電影。下面的故事也同樣說明了主觀上的謬誤。曼徹斯特市有個醫生，在教學生的時候，用手指沾糖尿病人尿的樣品來嘗味。然後，他要求全體學生重複這個動作。學生們勉強愁眉苦臉地照看做了，而一致同意尿是甜的。這時醫生笑看說：『我這樣做是為了教育你們觀察細節的重要性。如果你們看得仔細，就會注意到我伸進尿裏的是姆指，舔的卻是食指。』

眾所周知，不同的人在觀察同一現象時，各人會根據自己的興趣所在而注意到不同的事物。在鄉間，植物學家會注意到不同的植物，動物學家注意動物，地質學家注意到不同的地質結構，農夫注意農稼、牲畜等等。一個沒有這些愛好的城市居民，見到的則可能只是悅目的風景。許多男人同一個女人呆上一天，過後對她的穿戴只有極模糊的概念，但是大多數的女人在見到另一個女人以後幾分鐘，就能詳細描述那個女人的服飾。

反複看見某一事物而未加注意是完全可能的。舉例說，初到倫敦的人會對倫敦居民說起許多公共汽車前面所油漆的那些眼睛。倫敦人很吃驚，因為他從來沒有注意過。但是，一旦被提醒了，在以後的幾個星期中他每看到一輛汽車幾乎總是意識到那些眼睛的存在。

人們往往會注意到一個熟悉的場景上出現的各種變化，儘管原來也許並未有意識地注意這個場景的細節。確實，有時人們可能注意到了一個熟悉的場景有所變化，但卻說不出是什麼變化。喬治說：『記憶似乎就像照片底片那樣保存了一個熟悉的場景。第二次檢查時，人們無意識地將記憶的形象置於眼前出現的視覺形象之上。就像重疊兩張相似的照相底片時，人們立刻注意到那些不完全一致的地方，即一張上有所變化的地方。值得注意的是：有時不能憶起記憶中的整體，因此無法對細節加以描述。』

這一比喻也許不夠貼切，因為在故事或音樂等其它事物的記憶上，也同樣發生這一現象。在給孩子講一個他所熟悉的故事時，任何細小的更動都會引起孩子的注意，儘管孩子並不會背誦這個故事。喬治繼續說：『對變化的敏感似乎是一切感官的特性，因為聲音、味覺、嗅覺和溫度上的變化都能被立刻覺察 ... 甚至可以說：一個連續不斷的聲音只有在停止或變化的時候才能被聽見。』

如果我們認為新舊影象的對比，是在頭腦的下意識部分進行的，那麼有關直覺如何進入自覺思維的假設，與之亦有相似之處。我們希望人們即使意識不到全部細節，也要覺察出那些是值得注意的事實，即變化。

必須懂得所謂觀察不僅止於看見事物，其中還包括思維過程在內。一切觀察都含有兩個因素：(1) 感官知覺因素 (通常是視覺)；(2) 思維因素，這一因素如上所述，

可能是半自覺半不自覺的。當知覺因素處於比較次要地位時，往往很難區分觀察到的現象和普通的直覺。例如，有時把『我注意到當我走近馬匹時我就患枯草熱』這類的話當成觀察到的現象。枯草熱和馬匹都是顯而易見的，而二者之間的關係，在起初如果沒有某一程度的敏感性，則不可能任意到，這就是一種不易與直覺區別的思維過程。有時，注意與直覺之間可能是逕渭分明的。例如，亞里士多德說：觀察到月亮的光亮面總是朝著太陽，觀察者就可能突然想到這是由於月亮借太陽的光發亮。有如在本章開始所引的三個小故事，觀察也都發生在直覺之前。

### 科學的觀察 *Scientific observation*

由上所述，可以看到觀察者對複雜情況所做的報告是如何的不可靠。確實，即使對簡單的現象進行觀察和作準確的描述也是十分困難的。科學實驗在於挑選出某些事物，借助適當的方法和工具進行觀察。這些方法和工具一般誤差較小，作出的結果比較能夠再現，且能符合科學知識的普遍觀念。貝爾納將觀察分為兩種類型：(1) 自發觀察或被動觀察，即意想不到的觀察；(2) 誘發觀察或主動觀察、即有意識地安排的，通常是根據假設而安排的觀察。此處我們所關心的主要是前一種類型。

進行有效的自發觀察，首先必須注意到某個事物或現象。觀察者自覺或不自覺地，將觀察到的事物與過去經驗中有關知識聯繫起來：或在思考這一事物的過程中提出了某種假設，這時，觀察到的事物才有意義。上一節中我們談到思維對於變化或差異具有特殊的敏感性，這一點對於科學的觀察十分有用，但是更重要而且更困難的是，觀察(此處主要是思維過程)事物之間表面上似乎無關，實質上卻互相關連的。本章開始引用的特羅特的話就是指這個而言。只有富蘭克林 (Benjamin Franklin) 超群出眾的才能，才看到了摩擦生電和閃電之間的關係。最近，獸醫發現一種狗的疾病，症狀為腦炎和爪墊硬化。過去或許也見過多起這類病例，但未有人注意到腦炎和爪墊硬化間的奇怪聯繫。

人們不可能對所有的事物都作密切的觀察，因而，必須加以區別，選其要者。在從事某一學科方面的工作時，『有訓練的』觀察者總是有意識地根據自己的知識搜尋自己認為有價值的具體事物，但是，在進行科學研究時，他常常只能仰仗自己的辨別能力，只能靠自己的科學知識、判斷，以及有時靠自己想法的假設來指導。正如洛克菲勒基金會醫學科學會主任格雷格所說：『研究人員必須運用其絕大部分的知識和相當部分的才華，方能正確選出值得觀察的對象。這是一個舉足輕重的選擇，往往決定幾個月工作的成敗，並能把一個卓絕的發明家與一個只是老實肯幹的人區別開來。』

據說法拉第被邀請觀察實驗時，總是問要看的是什麼東西。但同時，他自己也還注意觀察其他現象；他遵循上一節中喬治所列舉的原則，則應該搜尋每一個細節的原則。然而，在做創造性的觀察時，這一原則是幫助不大的。貝爾納認為，人們在觀察實驗時思想應該不受約束，以免由於先入之見只是搜尋預期的特徵，而忽視了其他有價值的情況。他說，這是實驗方法的一個最大障礙，因為看不到意料之外的東西，就可能導致給人錯誤印象的觀察。他說：『走進實驗室時，擺脫掉你的想像力，就像脫

掉你的大衣一樣。』達爾文的兒子這樣寫到達爾文：『他渴望從實驗中得到盡量多的知識，所以不讓自己的觀察局限於實驗所面對的問題，而且他察覺事物的能力是驚人的 ... 他的頭腦具有一種技能，對他獲得新發現似乎是特殊的有利條件。這就是從不放過例外情況的能力。』

做實驗的時候，我們如果僅僅注意那些預期的事物，就很可能錯過預料之外的現象。而這些現象，儘管開始時可能令人不解，卻最可能導致意想不到的重要發現。有人說，正是例外的現象可能用來解釋常見的現象。每當發現不正常的現象時，就應搜尋與之可能有聯繫的情況。要做出創造性的觀察，最好的態度不是只注意自己認為相關的現象，而應留神意外的現象，須知所謂『觀察』不是消極地注視，而是一種積極的思維過程。

對事物進行科學的觀察，就是要進行最專注的審慎細察，必要時要借助攝影；做詳盡的筆記和繪圖都是促進準確觀察的寶貴方法，這就是要求學生在實習課中畫圖的主要原因。伯內特爵士在研究流行有感冒的過程中解剖了數以萬計的老鼠，對每一隻的肺部他都用顯微鏡進行了檢查並精心繪製了損害情形。在記錄科學的觀察時，我們永遠應該精益求精。

培養以積極探究的態度注視事物的習慣，有助於觀察力的發展。在研究工作中養成良好的觀察習慣比擁有豐富知識更為重要，這種說法並不過分。在現代文明中，我們的觀察器官逐漸退化，而原始時代的狩獵者卻非常發達。科學家需要有意識地發展這種能力，而實驗室和臨床的實際工作應在這方面提供有益的作用。舉例說，觀察動物時，應該有計劃、有步驟地進行觀察，並有意識地記錄下諸如品種、年齡、性別、顏色斑紋、形態特徵、眼睛、天然孔口、飽腹或空腹、乳腺、皮毛狀態、舉止行為等特點，並記錄其周圍環境，包括其糞便排泄物或食物渣。當然，除此以外，對有病的動物還要進行臨床檢查。

進行任何形式的觀察都要有意識地尋找每個可能存在的特點，尋找各種異乎尋常的特徵，特別是尋找各事物之間，或是事物與已擁有的知識之間任何具有啟發性的聯繫或關係。這最後一點我指的是在觀察培養基時，注意細菌菌落是抑制還是助長其附近的菌落；在實地考察時，要注意疾病與牧場類型、氣候或管理制度之間的聯繫。我們觀察到的大部分關係都是出於機遇，並不具有重要意義，但偶爾也有一兩點導致富有成效的想法。觀察時最好將統計學置之腦後，並對觀察到的資料中那些最微小的聯繫所可能具有的意義加以考慮，儘管從數學角度看去可能是不屑一顧的。對十分有限的素材進行認真觀察得到的發現，要超過將統計學應用於大量素材而得到的發現。後者的價值主要在於檢驗由前者產生的假設。在觀察時，人們應該培養善疑多思的思想方法，注意搜尋值得追尋的線索。

觀察的訓練所遵循的原則與其他任何學科的訓練原則相同。首先必須刻苦勤奮，隨著實踐的增多，行動逐漸變得不知不覺或無意識，遂養成習慣。進行有效的科學觀察還必須有良好的基礎，因為只有熟悉正常情況，才能注意到不尋常或尚未加以解釋的現象。

## 提要 *Summary*

要對複雜情況作出精確的觀察是極端困難的，觀察者往往不自覺地產生謬誤。有效的觀察意指注意到某個事物，並將它和某個注意到的或已知的事物聯繫起來，賦予其意義；因此，觀察既包含知覺因素又包含思維因素在內。

觀察到一切是不可能的。因此觀察者必須把大部分注意力集中在選定的範圍內，但應同時留意其它現象，尤其是特殊的現象。

## 第九章 困難 Difficulties

謬誤無所不在，無孔不入。沒有一種方法是萬無一失的。

- 圭理·尼爾軒 -

對新想法的抗拒心理·與新發現的對立·解釋的謬誤·提要

### 對新想法的抗拒心理 *Mental resistance to new ideas*

科學上的偉大發現剛創設的時候，人們對它們的看法與現在迥然不同。當時，很少人能體認到自己對該問題原來一無所知，因為，無論是對問題視而不見，對它的存在置若罔聞，還是在該問題上已經有了普遍被接受的舊觀念，都必先驅除後才能建立新概念。巴特菲爾德 (H. Butterfield) 教授指出：從不同的角度著眼看待它，並且擺脫當時流行的理論；這就是伽利略所曾面臨的巨大精神障礙，而一般性的障礙則是每一個具獨創性的重要發現都會遇到的。今天，諸如行星系這類知識連兒童也很容易掌握的事物，在人們的思想還受到亞里士多德觀念限制的時候，確實需要超群出眾的天才進行智力活動的偉績壯舉才能想象出來。

哈維 發現血液循環本可以比較順利，但當時流行的看法是：(1) 存在的兩種血液；(2) 血液在血管中像潮汐一樣來回流動；(3) 血液可以從心臟的一側流到另一側。哈維發現頭部和頸部靜脈瓣膜所朝的方向不符合當時的假設，這個無法解釋的小事最早使他對流行的理論產生了懷疑。他解剖了不下八十種動物，包括爬行類、甲殼動物和昆蟲，從事了多年的研究。建立循環概念的最大困難在於動脈末端和靜脈之間無任何可看得到的聯繫。哈維無法證實循環作用，只能作為一種推斷提出。他宣布他計算出了心臟輸出的血量，這是一個勇敢的舉動。哈維自己寫道：『但是，關於血液流量和流動原因尚待解釋的內容，是如此新奇獨特、聞所未聞，我不僅害怕曾招致某些人妒恨，而且想到我將因此與全社會為敵，不免不寒而慄。匱乏和習俗已成人類的第二天性，加之以過去已經根深蒂固確立的理論，還有人們尊古師古的癖性，這些很嚴重地影響著全社會。然而，木已成舟，義無反顧，我信賴自己對真理的熱愛以及文明人類所固有的坦率。』哈維的疑懼不是沒有根據的，他受到了嘲笑和辱罵，求診的病人也少了。爭論了二十餘年以後，血液循環說才被普遍接受。

前已提到的詹納和米爾斯的遭遇，以及本章稍後還要援引的塞麥爾維斯 (Semmelweis) 的故事，也說明了對新想法的抗拒。

維薩里 (Vesalius) 早年研究解剖學時說過：當他發現了不同於蓋倫 (Galen) 已描述的結構時，他簡直不能相信自己的眼睛，甚至認為如果不是解剖的對象便是自己的技術出了差錯。認識一個預想不到的新事實，使這個新事實已經十分明顯，也往往是異常困難的。只有那些從未面對過嶄新事實的人，才會嘲笑中世紀的觀察者竟然不相信自己的眼睛。教師們很清楚，當學生們的實驗結果與預期不符時，他們往往會無視

實驗結果，不相信自己的觀察。

對於所有的問題，人們幾乎都有根據自己的經驗、知識和偏見，而不是根據先前的佐證去作判斷的強烈傾向。因此，人們是根據當時流行的觀念來判斷新想法。如果新想法過於具有革命性，也就是說，距離當時主要的理論太遠，無法納入當時知識的整體，那就不會被接受。若獲得新發現的時機不恰當，則十之八九會被置之不理，或招致強烈得無法抵抗的反對。所以，一般來說還不如不發現。斯蒂芬森 (Marjory Stephenson) 博士把超時代的現象比做戰爭中能借以奪取陣地的突出地帶。然而，如果主力部隊相距太遠不能適時增援，那麼這塊前衛陣地會丟失，只能留待以後再奪取。

一八八六年 麥克芒恩 (McMunn) 發現了細胞色素，但當時意義不大，無人置理，直到三十八年以後 基林 (Keilin) 重新又發現，才予以闡明。孟德爾 發現遺傳學基本原理是一個很好的例子，說明即使在科學界有時也看不到某一新發現的重要意義。孟德爾 的著作奠定了一門新學科的基礎，但在向一個科學協會宣讀並發表以後三十五年間，竟然無人問津。費歇爾 曾說：在孟德爾 論文中，每一時代的人似乎只見到了自己預期的東西，而忽略了與預期不符的內容。孟德爾 的同時代人只是看到孟德爾 重複了已發表過的雜交實驗，而下一代人則認證到了孟德爾 有關遺傳觀點的重要性，但認為這些觀點很難與進化論協調。而現在，費歇爾 告訴我們，經過嚴峻冷酷的近代統計方法檢驗，有確鑿的證據證明：孟德爾 的某些結果並不是完全客觀的，而是偏向於作者預想的結果。

某些心理學家有關超感官知覺和預知的研究，也許就是今天超時代發現的例子。大多數科學家都無法接受這些人的結論，儘管後者有顯然無可辯駁的佐證，原因是這些結論無法與當今對物質世界的認識協調一致。

除非發現者不是眾所公認的科學界人士，否則，時機成熟時的新發現一般是人們樂於接受的，因為這種新發現符合流行的觀念，並可由之印證，或者說，就是從當時知識本體中發展而來的。這類新發現作為科學發展主流中的一脈，遲早會出現，並可能差不多同時出現在世界上不同的地方。廷德爾 說：『任何偉大的科學原理，在由個人明確闡述之前，一般的科學家已大抵有所了解。知識的高原本已高峻，而我們的發明家則像高原上的山峰，又略微聳峙在當時一般的思想水準之上。』然而，這樣的發現在被普遍接受之前，常常會遇到一些抵制。

對於來自外部的新想法，我們大家都有一種抗拒的心理傾向，正如對標新立異的舉止衣著存在著抗拒心理一樣。也許其根源是過去稱之為集體本能的一種先天性衝動。這種所謂的本能驅使人們在某種範圍內因循守舊，反對集體中的成員逾規越矩，背離主宰當時的行為和思想。另一方面，這種本能給予人們眾多的假象信念，不管這種信念是否有確鑿的事實為依據。人們通常把本能的行為合理化，『理由』只是補證的，是頭腦中想法出來為自己的看法辦護的。

特羅特 說：『頭腦不喜歡新奇的想法，猶如身體不喜歡新奇的蛋白質，它們都同樣會竭力抗拒。新想法是科學上作用最快的抗原，這種說法並不過分。如我們老實實地觀察自己，往往會發現：甚至在新想法被充分提出之前，我們就已經開始反駁了。』

當成年人開始覺察到某種新東西出現的時候，往往不是起而攻之，便是設法逃避。這就是所謂的『攻擊-逃避』反應。所謂攻擊包括嘲笑之類的緩和形式，而僅僅置之不理也算在逃避之列。對倫敦第一個攜帶雨傘者的攻擊，便說明了通常對科學上驚人的新發現所採取的反應。在攻擊的同時往往儘量使攻擊合理化，即攻擊者提出攻擊或抗拒某一想法的『理由』。懷疑態度通常是保護自己不接受新想法的一種不自覺的反應。我們常常會發現自己不自覺地抗拒別人提出的新想法。正如沃爾什所說，『在我們每個人的身上，都有把雛形的想法加以窒息的熱切、渴望。』戴爾描述了倫琴最初宣布發現 X 射線所遇到的嘲笑。有趣的是：大物理學家湯姆森 (J.J. Thomson) 與眾不同，並不抱懷疑態度，相反，他堅信事實會證明倫琴的報告。同樣，當貝克勒耳 (Becquerel) 宣布鈾鹽放出射線時，只有瑞利 (Rayleigh) 勳爵表示願意相信。湯姆森和瑞利的思想是擺脫了流行傳統觀念約束的。

有時，一個發現須三番兩次的作出，方被接受。席勒在寫到對新想法的抗拒時說：『這種惰性可被列為大自然的一項基本法則。它的一個奇特結果是：當一個新發現經過漫長的歲月最終獲得承認時，人們通常發現這個新想法早在預期之中，並具有充分的論證和詳盡的細節。例如達爾文學說就可追溯到古希臘的海拉克里特 (Heraclitus) 和阿那克西曼德 (Anaximander) 。

反對派往往抱著『求全』的態度來衡量、判斷新發明。他們會說，不能全面解決實際問題的答案是無用的答案。這種不講理的態度有時阻礙或延誤了新發展的採用，而這種新發展在尚無更好代替者的情況下是非常有用的。儘管一個新發現具有確鑿的佐證，但有些科學家因和自己的先人之見相矛盾，便頑固地拒絕承認。像這樣的科學家並不乏其人。也許這種頑固的懷疑者在社會集體中不無有益的作用，但我承認我是不敢恭維這種人的。據說時至今日還有人堅持世界是平的。

雖然對新發現的抗拒往往令人惱怒，甚至十分有害，但是，它卻發揮了緩衝的作用，防止社會為時過早地接受尚未充分證明和充分試驗的想法。若無這種與生俱來的保守主義，狂思亂想和江湖騙局就更要猖獗泛濫。科學上為害最大的莫過於捨棄批判的態度，輕信佐證不足的假設。一個沒有經驗的科學家常犯的錯誤是：輕信那些貌似有理的想法。從表面看，人們對新學說所取的態度似乎反映了保守與激進之爭的普遍問題。這些思想方法有可能下意識地影響人們在爭辯中偏袒一方，但是我們應力求公正。我們所追求的是正直、客觀地判斷佐證，儘可能使思想擺脫沒有事實根據的成見，或佐證不足時不輕易下結論。批判的思想方法 (或稱批判力) 與懷疑態度之間，是逕渭分明的。

### 與新發現的對立 *Opposition to discoveries*

至此，我們討論的是對新想法心理上的抗拒。在這一節裏我們要從其它方面討論與新發現對立的問題。

新發現之所以常常遭到反對，因為從廣義上說它冒犯權威，侵占既得利益的人或群體。津澤援引了培根所說的：由於過去的業績而享有聲望的顯貴，大抵不願見到

發展的洪流迅速奔騰超越其成就。津澤評論說：『在飛速發展的科學上。隨著年齡的增長，我們的使命是：看到糾正舊有觀念的新發現時，我們應感到愉快，並在教學的過程中以自己的學生為師。這是預防中年時期老頑固病症的唯一有效措施。』

新發現所引起的紛爭有時因發現者的人品而變本加厲。獲得新發現的人往往不會也不善於處理人與人之間的關係，如果他們略微圓通一些，麻煩也就少得多。哈維的發現最終獲得承認，而塞麥爾維斯 (Ignaz Semmelweis) 則不成，緣由蓋出於此。塞麥爾維斯無心機可言，而哈維則把他的著作奉獻給查理國王，將國王和王國比做靈魂和軀殼。哈維的作傳人，威利斯 (Willis) 說，哈維具有一種遊說爭取相識者的驚人本領。哈維說：『人生到世界上，赤條條手無寸鐵，好似天命注定人要成為社會的動物，奉公守法，相安無事；好似天意要人受理智的規導。』在談到批評他的人時，他說：『然而，我認為：反唇相譏，惡語相加，是有失一個哲學家（即科學家）和探求真理者的身份的。』在寫到同一問題時，法拉第說：『真相遲早要大白於天下，而耐心回答比強制更能說服反對派，如果他們反對的是錯誤的』。

發現者，尤其是一個初出茅廬的年輕發現者，需要勇氣才能無視他人的冷漠和懷疑，才能堅信自己發現的意義，並把研究繼續下去。讀到哈維、詹納、塞麥爾維斯和巴斯德這些人面臨反對時所表現的大無畏精神，我們感到高興，但又有多少發現者因缺乏必要的熱情和勇氣，放棄了有益的研究，而湮沒無聞！特羅特說過沃特森 (J.J. Waterson) 的故事，沃特森一八四五年寫了一篇關於氣體分子理論的論文，提出了很多後來焦耳、克勞修斯 (Clausius) 和麥克斯韋提出的內容。鑒定這篇論文的皇家學會仲裁人說：『滿篇胡說八道。』就這樣把這篇論文打入冷宮，直到四十五年以後才再挖掘出來。沃特森落魄無聞地活了好多年，後來神秘地失蹤了，無跡可尋。特羅特說，這個故事對於很多急於取得知識進展的人，可能有如當頭被澆了一瓢冷水。很多新發現就這樣胎死腹中或窒息於呱呱墮地之時。我們所知道的只是倖存者。

雖然，今天在絕大多數國家裏，在現在是正統的科學領域中，從事研究活動已不擔任何風險了。但是，因此得出結論，認為蒙昧主義和反動壓制只是從前的事，那就大錯特錯了。僅僅三十年前，愛因斯坦在德國就受到一場有組織的、惡毒的迫害與嘲弄運動的圍攻。一九二五年在美國，在臭名昭著的『田納西州猴子審判』會上，一位自然科學教師因教授進化論而被起訴，在極權主義的國家，政治干預科學事務，如納粹統治時期的情況，以及今天遺傳學上的爭論，會使專制主義進入科學，從而壓制了那些在科學理論上不願就範於黨派宣言的研究者。那些專門反對疫苗接種和活體解剖的團體也是一種形式的反動。就是我們科學家自己也不能矜然自得，因為即使在今天的科學界中，當新發現在理論上是革命的，而發現者又不是社會公認的科學界人士時，也還很可能遭到冷漠的待遇或反對。這時，發現者也許還需要具有篤信自己理論的勇氣。

據說，一項對知識的創造性貢獻，其接受過程可分為三步：在第一階段，人們嘲笑它是假的，不可能的，或沒有用的；到第二階段，人們說其中可能有些道理，但永遠派不上什麼實際的用場；到第三步也是最後的階段，新發現已獲得了普遍的承認，這時，許多人說這個發現並不新鮮，早就有人想到了。史密斯說得對：『研究的愉快必

定在於研究本身，因為其他方面的利益收獲都是靠不住的。」

偉大科學家對人類的貢獻，所得到的報酬竟然是遭到迫害，這在過去是司空見慣的事。塞麥爾維斯的遭遇就是這一奇怪事實的極好例證。當時，歐洲的醫院盛行產褥熱，塞麥爾維斯指出了如何防止這種疾病，以減少病人的痛苦，降低死亡率。

一八四七年塞麥爾維斯想到：產褥熱可能由直接從驗屍房出來的醫學教員和學生的手帶給產婦。為了消滅手上的『屍體物質』，他建立了一條嚴格的制度：在檢查產婦之前，必須先在漂白粉水中洗手。採用這一步驟後，維也納總醫院第一產室產褥熱的死亡率立即由 12% 降為 3%，後又降到 1%。他的理論在很多地方受到歡迎，並為一些醫院所採用。但是這種革命的思想把死亡的責任歸咎於產科醫生，招致了權威的反對，於是他們拒絕續聘他為助手。他離開了維也納到布達佩斯，在那裏他介紹的方法再度獲得成功。但是他在理論上卻進展不大，甚至遭到維周 (Rudolf Virchow) 這樣大人物的反對。他寫了一本書，就是著名的『病原學』，今天被認為是醫學文獻方面的經典著作，但當時賣不出去。挫折使塞麥爾維斯怨恨暴躁，他孤注一擲，寫文章把不肯採用他方法的人罵成殺人犯。但這樣做只是受到更多的嘲笑。他結局悲慘，一八六五年被送進瘋人院。承蒙上帝慈悲而且具有諷刺意味的是：進瘋人院後幾天，他就因最後一次產科手術時手指受傷傷口感染而死，成為他畢生奮鬥所要預防的細菌感染的犧牲品。他堅信自己主張的真理總有一天要昭彰於世，從不動搖。他在為自己的『病原學』所作的頗帶哀愁的引言中寫道：『回顧以往，我只能期待有一天終於消滅這種細菌感染，用這種歡快來驅散我身上的哀傷。但是，如果天不從願，我不能親睹這一幸福的時刻，那麼，讓堅信這一天遲早會到來的信念做我臨終的安慰吧。』

其他人的工作，特別是法國的塔尼爾 (Tarnier) 和巴斯德，英國的利斯特，使得社會勉勉強強在十年或更長的時間以後，認識到塞麥爾維斯的理論是正確的。

塞麥爾維斯之所以未能使大多數人接受他的看法，一則可能由於在證明細菌引起疾病之前，不能圓滿地解釋消毒雙手的價值；一則也可能因為他太不懂人情世故了。現在尚不清楚，塞麥爾維斯所發現的原理最終為人們所接受，是否有很大的或任何的影響，看來其他人也獨立地解決了這個問題。

### 解釋的謬誤 *Errors of interpretation*

因為沒有別的更合適的地方，我準備在這裏談一下，在解釋觀察到的現象或實驗的結果方面，一些尚未提及但卻很常見的錯誤。

產生謬見的最常見原因或許就是所謂的 Post ergo propter hoc (拉丁文，意即在這以後、所以、就由於這樣)，即認為兩件相繼發生的事件之間具有因果關係；特別是在沒有對照標準的情況下由此得出結論，認為結果是由於某種相干的事件影響所致。我們的全部行動和理性，都是以這樣的合理假定為依據的，即認為一切事件都以前一事件為起因。但是，當我們把實際上對觀察到的結果並無影響的前一特定事件看成起因的時候，謬誤就因此而產生。不懂醫學的大眾之所以篤信醫藥，大部份就是這種謬見

所致。直到不久以前：絕大部分的醫藥療效甚微，對服藥所要治癒的疾病幾乎或完全沒有作用。然而，不少人相信他們的病是因為吃了藥才好的。許多人，包括一些醫生在內，相信接種某種疫苗能防止普通感冒，因為出於某種幸運的巧合，一些病人在接種後的第二年未得感冒。但是，許多以相似的菌株作接種的對照試驗，全部證明這種疫苗沒有一點用處。進行對照實驗室避免這類謬誤的唯一方法。

在證實兩件事情互有聯繫時，如錯誤地假定二者必然是因果關係，那就犯了同樣的邏輯錯誤。有時收集的資料證明：城市裏某一多煙或低窪地區某種疾病的發病率比其他地區為高。研究人員可能因此得出結論認為多煙和低窪是疾病的誘因。這種結論往往論據不足，他們更應該到這些不衛生地區所存在的貧困和過於擁擠中去尋找原因。維周在反駁塞麥爾維斯關於產褥熱病因理論時，斷言氣候是一個重要因素，因為冬季發病率最高。塞麥爾維斯回答說，疾病與冬季有一定的聯繫，因為在冬季，學習助產的學生花費更多時間進行死屍解剖。

有時把原因歸因於某一新因素的加入，而實際的原因可能只是因為舊因素被排除了。這樣做的時候也可能造成錯誤的結論。有人曾在習慣於晚上喝咖啡的人中做過試驗，證明如用另一種飲料代替咖啡，則夜間睡眠更好。人們可能因此認為這種飲料有促進睡眠作用，但睡得好很可能完全是因為不喝咖啡的緣故。同樣在做飲食方面的實驗時，當用一種新成分取代一種舊成分時，常常會得出錯誤的結論。所謂新成分的效用，後來證明僅是由於除去了舊成分所致。有人發現，用人工照明的方法能影響某些植物開花。起初人們認為這是因為延長了『白晝』後來又發現這是由於縮短了『黑夜』，因為，如在夜半時分進行短暫的照明，甚至比黃昏後或拂曉前長時間的照明效果還要好。

把甲物種身上的實驗結論應用於乙物種時，總不免要有危險。因為老鼠或其它實驗動物需要某種維生素，研究人員就因此得出結論，說人類或家畜也需要這種維生素，很多錯誤就是這樣造成的。但是今天這類謬誤一般是能鑒別出來的。在化學藥物方面近來也有這類問題，對人體極為有效的磺胺類藥，對於某些家畜身上的同樣細菌，療效未必最佳。

產生謬見的一種更凶險的原因，是看不到某一作用過程可能有多種可供選擇的原因。坎農曾評論過一度做出的錯誤推斷：這種推斷認為，腎上腺素並不能從肝臟吸取醣分從而控制血糖量標準，理由是去除腎上腺髓以後，仍能保持一定的血糖量標準。事實上是，從肝臟中吸取醣分的方法很多，但以腎上腺素最為有效。顫抖本身能防止體溫降低，但並不因此證明別的因素就不起作用了。溫斯洛 (Winslow) 描述了這種『單一原因謬見』的另一形式。當兩個因素同時成為某一事物的原因時，如果甲因素是普遍存在的，則人們往往輕率地下結論說乙因素是唯一的原因。十九世紀時人們相信，不衛生的條件就是引起腸熱病即傷寒的原因。當時，致病的微生物普遍存在，因而是否講究衛生就決定了發病率的高低。疾病的致因是複雜的，包括了致病微生物、微生物在宿主間傳播的條件、以及影響宿主受感染的各種因素。任何一次疾病的發生都是各種致病因素複合的結果，但我們往往挑選出其中之一，認為這是唯一的原因，因為這一原因的存在不如其它條件那樣普遍。

在考察某種病症在某些居民中的發病率時，有時由於觀察的對象是不具代表性的一部分居民，從而得出錯誤的結論。例如，某些數字被普遍接受，並列入教科書中，說明不同年齡的兒童，對喜克氏 (Schick) 白喉免疫試驗呈陰性反應的比例。過了很多年後才發現，這些數字僅適用於就診於城市公立醫院的貧苦階級兒童。在其它部分的人口中，數字則很不相同。我一九三八年去美國時，幾乎沒有見到說羅斯福總統一句好話的人，但蓋洛普 (Gallup) 博士民意測驗的典型調查卻證明，百分之五十以上的人支持羅斯福。人們很容易根據自己的觀察和經歷來作普遍性的概推，而這種概推定律往往不是以真正的隨意抽樣為依據，樣品也不足以具有代表性。培根曾警告人們勿因信賴印象而導致謬誤。

『驟然看到或想到的事物，最能激發人的理解能力，並使想像力翩然神馳。這時人們開始悄然不覺地想法構思，以為萬物都酷似頭腦中留有印象的那幾樣東西。』

造成錯誤的一個常見原因是：在佐證不足的情況下作出無根據的假設。下面舉一個典型的例子。柯赫在論列他著名假設的演講中，描述了他是怎樣做出貌似合理的假定從而導致謬誤的。柯赫在做有關結核桿菌的研究工作時，從多種動物身上得到了菌株，加以試驗，最後得出結論說，所有的結核桿菌大體雷同。他只是沒在家禽身上做致病原因與培養試驗，因為當時搞不到新鮮的原材料。然而，既然結構形態一樣，他就假定家禽身上的細菌與其他動物身上的也相同。不久以後，他收到了一些結核桿菌的非典型菌株，儘管做了長時間的考察研究，仍是不解之謎。他說：『我做了一切努力，意圖找到這種差異，但都失敗了。最後，一件小小的意外，澄清了這個問題。』他碰巧得到了幾隻患有結核病的家禽，當他把家禽身上的細菌進行培養後：『我驚奇地看到，它們具有那些可疑的培養物的外觀和全部其他特徵。』這樣，他發現鳥類和哺乳類結核菌是不相同的。附帶提一提，這一資料似乎已經『丟失』，是我在搜尋別的資料時偶然發現的，因為當前的一些教科書說：沒有任何證據說明柯赫曾提出過這次演講中所論列的著名假設。

通過在實驗動物身上接種並培育病原體的方法來分離傳染因子時，人們很容易出差錯。很多老鼠鼻腔裏有潛伏病毒，在通過鼻腔往肺部注射任何物質時，這種病毒就進入肺部，繁殖衍生。如果用同樣的方法把這些老鼠的肺臟物質注射給其他老鼠，則有時能造成肺炎，這樣，就可能因此得出錯誤的結論，同樣，在通過把物質接種到實驗動物皮膚上的方法來分離病毒時，很可能產生一種能傳染的條件，其來源不是原來的接種物，而是周圍環境。

早期犬瘟熱的研究把一種從病狗身上分離出來的細菌看成是致病原因，因為接種這種病菌能引起一種酷似犬瘟熱的疾病。然而，後來發現的一種病毒才是犬瘟熱的真正致病因素。這才知道早期的研究所以失誤，或是由於人們分離出的是一種次要的致病侵入物，或是由於人們未能採取嚴格的措施來檢疫隔離他們的試驗狗。

在研究人員盡了最大的努力檢查出自己工作中的謬誤以後，他的同事們往往都樂於用評批的方法助他一臂之力。不先將研究成果置於同事善意批評的顯微鏡下透視一番，就將論文交付發表，這種人是膽大妄為的。

## 提要 *Summary*

新想法要取代現有的觀念，這就是對新想法抱抗拒心理的部分原因。不與現有知識整體銜接的新事實是通常不為人所承認的；新事實如僅僅得到孤立的證據所證實，也往往是不夠的。因此，時機不成熟的新發現，往往被忽視而丟失。一種不合情理的、對新事物的本能抗拒心理，是過分懷疑與保守態度的真正原因。

偉大的發明家之所以遭到迫害，部分是由於這種對新想法的抗拒心理，部分是由於冒犯了權威，侵犯了他們精神上和物質上的既得利益。有時，發現者不諳人情世故也使得事態惡化，對新發現的抵制勢必將許多發現扼殺在襁褓之中。蒙昧主義和專制主義尚未死亡。

可能造成謬誤的原因有：(1) 運用『必然性』的邏輯推理，將不同時間實驗的兩組進行比較；(2) 假定互有聯繫的兩個因素之間必然是因果的關係；(3) 根據代表性不足的樣品做出的觀察，加以概推所得出的結論。

## 第十章 戰略和戰術 Strategy

研究，完成，出版。

- 法拉第 -

研究工作的計劃和組織·不同類型的研究·科學研究中的移植法·戰術·提要

### 研究工作的計劃和組織 *Planning and organizing research*

關於研究工作的計劃有不少爭論。主要分歧是：純理論研究和應用研究各有什麼價值。主張計劃研究的激進派認為：有意識地為社會某種需要服務的研究才是唯一有價值的，而純理論研究只不過是浪費時間，怡情適性的消遣而已。而另一方面，反對計劃的人（英國有一個『爭取科學自由協會』）則認為，被組織起來的研究工作者變成了例行公事的調查員，因為失去了精神上的自由以後，獨創精神就不能發揚興盛。

往往由於未能闡明所謂計劃的含義，因而攪混了關於研究工作計劃的討論。我們應區分三種不同的計劃：第一種是研究人員本身對研究工作的處理，相當於戰爭中的戰術，時間很短，一般只包括一、兩個實驗。第二種是規模較大、時間較長的計劃，相當於戰爭中的戰略。參加此類計劃的不限於研究人員本身，還往往包括研究工作的指導人員和技術委員會。第三種是研究方針的計劃，這類計劃主要是由一個委員會主管，決定研究那些問題，資助那些項目和人員。

我們已經指出，許多新發現不是預見之中的：並且，在生物學研究的下列兩方面，個人的努力扮演主要角色：(1) 識別預期之外的發現，並進行深入研究；(2) 進行長時間集中的腦力活動直至產生新想法。根據計劃的安排，系統地積累資料，按這樣的方法得出的重大發現也許是很少的。有些人以為，對問題不具備基本的知識，就不可能找到解決問題的答案。但事實並非如此。要獲得一個經驗性的發現，通常是先提出解決方法，以後再對原理進行理論闡述。從本書敘述的那些新發現中，我們應吸取的一個主要教訓是：研究人員在決定了研究的方向以後，決不應給自己戴上思想的遮眼罩，從而像一匹拉車的馬，只見腳下的那塊路，而看不到道旁的景色。

從科學發現的歷史所給予我們的種種教益來看，由一個委員會來制定科學研究的戰術，不如由從事研究的工作者本人，隨着研究工作的進展制定自己的方法，這樣效果更好。對於大多數研究人員來說，科學研究是一種個人的活動，規劃戰術的責任最好留待研究者個人承擔。這樣，若給予研究人員所必需的動力和獎酬以進行有效的研究，他們會把全付的精力用在這一項研究上。過多的監督會影響創造性，因為只有讓人感到這是自己的東西，才會全心全意，全力以赴。洛克菲勒醫學研究所的創始人弗萊克斯納 (Flexner) 一貫認為：只要人選恰當，你就可以完全放心，這些人自己的主意總比別人想出的好。決不應要求科學家一板一眼、分毫不差地按照自己制定的研究計劃行事，而應容許他們根據發展的需要適時的對計劃修改變動。

已故的托普萊教授說：『委員會是一種危險的東西，需予以密切的注視。我相信研究委員會能做一件有益的事，但僅只一件。委員會可以找到最適合研究某一問題的人員，把他們組織起來，給他們方便的條件，然後讓他們自己去進行工作。委員會可以定期審議工作的進展，進行調整。但此外要多加干預，就有害處。』技術委員會和研究工作的指導人員在戰略計劃方面常可發揮某種作用，但他們必須要與從事這項研究的人員有所配合，切不可在戰術方面發號施令。在研究方針的計劃上，委員會有很大的價值，它可以喚起社會對某些重要問題的關注，並籌措必要的資金，調動必要的人員。委員會有時還可發揮這樣的作用來推動科學的發展：為各實驗室的人員溝通彼此的進展情況，以減少通常因發表報告所造成的延誤。有些戰術委員會用這樣的方法來協調各個分散的研究工作，發揮了很好的作用。

制定戰略的和方針性的計劃是一項責任重大的事，必須委任給真正理解研究工作並具有相當科學知識的人，才有成功的希望。這個道理十分明顯，也許不值一提。人們普遍承認：制定研究工作戰略規劃的委員會，其主要成員應是在這一科學領域內積極從事研究活動的人。遺憾的是，很多委員會為了萬無一失，只資助那些已經訂出詳盡計劃，從事一般性研究的項目，而不肯冒風險，這就常常做不出有價值的發展。

各種計劃和方案，是用於解決已經認識到的發問，亦即應用研究的。但是科學也需要那種不考慮實際結果，不受其它因素影響而從事純理論研究的人員。

在研究組中，某個或某些人員通常會扮演領導作用，對問題考慮得多一些。當然，也有一些科學工作者不適合從事獨立的研究活動，但作為研究組的成員，在別人的密切指導下，也能發揮很有益的作用。在其他條件相同的情況下，想像力豐富的人比只具有單純邏輯頭腦的人，更適於擔負領導工作。因為前者更富有啟發性、而且足智多謀。但是研究組的領導人本人也必須積極參加研究；換言之，戰術的計劃最好由研究人員而不是由辦公室行政人員來制定。如果研究組推不出一位領導人，那麼可將問題分割開來，使每個具有獨立工作能力的人員，分別對某一方面的工作負責。研究組必須儘量避免把計劃訂得過細、過死。然而，在互相配合的過程中，工作必須充分協調，使每個成員不僅了解自己負責的是那一方面，而且能移掌握全局。埃利希很好地闡述了研究組工作的原則：『集中進行研究，而每個成員又有相對的獨立性。』一切計劃都應看成是暫時的，可隨工作的進展而變動的。這裡切不可混淆研究工作的計劃和個人實驗的部署。在部署實驗時，必須精心構思，嚴格按計劃進行。這一點是毋庸置疑的。

相互配合對於跨越多種學科的研究工作是非常必要的。例如讓醫生、細菌學家和生物化學家同時研究一種疾病。在進行生物化學方面的研究時，常使用大型的研究組，因為它需要相互配合的、熟練的技術工作。在開拓個人的研究時，往往也需要研究組的配合。

研究組還有一個重要的用途：它能使有才華的人之能力超越自己雙手和技術條件所容許的限度。特別是這一類的研究組，還能夠為初學者提供學習從事研究工作的機會。青年科學工作者能與一位有經驗的研究人員共事合作，比僅僅得到後者的監督要

獲益更大。而且，這樣他也更有希望品嚐成功的滋味，這對他有極大的好處。再者，青年人的敏感和獨創精神，一經與成熟科學家豐富的知識和經驗相結合，就能相得益彰。在需要密切配合的時候，各個研究人員的個性當然也是值得認真考慮的。大多數富有才華的人，能啟發別人思考，但有些人想像力過於豐富，試驗新想法的願望過於迫切，以至對想要試驗自己想法的青年同事起了阻礙作用。此外，一個人可以是個卓越的科學家，但卻在了解和處理人與人的關係上完全不成熟。

反對研究組配合的主要觀點是：如果研究人員不能隨意離開本題進行研究工作，那麼，就可能錯過機會，不能在一些預想之外的枝節問題上獲得新發現。弗萊明會指出，他當初若是參加了一個研究組，就不可能放下手裏的研究，去深入追蹤別的線索，也就發現不了青黴素。

為了使自己的工作有所遵循，研究人員在工作剛開始的時候，應制定某種暫時的總計劃，並為具體實驗訂出詳盡方案。在這一方面，指導人員的經驗對青年科學家會有很大的幫助。後者介紹他所收集資料的概況，以及自己對擬議中工作的想法，以資討論。沒有經驗的科學家往往不知道科學研究中那些可行那些不可行，對於需時一年的工作，有時會提出一項要十年才能完成的計劃。有經驗的人懂得，在實際中應當限於一項比較簡單的項目進行工作，因為他知道即便是簡單的項目，也意味着它含有不少的工作量。因為只聽到科學研究中成功的例子，於是一個新手往往會得出一種假像，認為研究工作易如反掌。其實每一點滴的進展都是緩慢而艱巨的，一個人一次只能著手解決一項有限的目標。新手在遇到計劃以外的重要線索時，應與指導自己的人進行討論。因為，他雖然可能發現追蹤的有益線索，但如果對於出現的每個未解之題都跟蹤下去，那是既不可能也不合適的。在這些問題上提出建議並幫助解決出現的困難，就是研究工作指導人員的主要任務。被指導者的成敗便繫於指導者對科學研究的性質理解程度如何而定了。隨著青年科學家的成長，應逐步鼓勵他減少對指導者的依賴。青年科學家獨立工作的程度應根據他表現的才能以及他獲得的成就來決定。

不論是參加小組的研究人員，或是獨立工作的研究者，都應記下預計要試驗的想法和實驗。列出一項工作方案，並不斷進行修訂。

有些人認為，研究工作在小規模機構中進行較適宜，在那裏指導人員對所有的工作都能躬親過問，規模一大，效率就要降低。無疑，很多例子證明：在小機構中平均每人的成果要多於大機構中。這些地方的指導人員往往不僅是一個能幹的科學家，而且善於激發他的工作人員之幹勁。有些大的機構效率也很高，在那裏可能有幾個活躍的中心，每一個中心又都有一個精明的領導者做核心。

### 不同類型的研究 *Different types of research*

科學研究一般分為『應用研究』和『純理論研究』兩種，這種分類頗為主觀且不嚴謹。通常，所謂應用研究是指對具有實際意義的問題進行有目的之研究，而純理論研究則完全是為了取得知識而研究的。可以這樣說，一個搞純理論研究的科學家具有一種信念，認為任何科學知識本身都是值得追求的，追問原因的時候他會說，十之八九總有

一天會有用的。絕大多數最偉大的發現，諸如電、X 射線、鈾和原子能，都是起源於純理論研究。在進行這種研究時，研究人員追蹤有趣的意外發現，並不考慮它是否具有任何實際價值。在應用研究上，所支持的是研究計畫，而在純理論研究方面，人們支持的是科學家。然而，二者之間的區別有時失之膚淺，因為衡量的標準可能僅僅在於研究的項目有無實際價值。例如，研究池水中原生動物的生命週期是純理論研究，但如果該原生動物是人體或家畜身上的寄生蟲，則這項研究就可稱為應用研究。還有一個基本方法，可用來大體區分應用研究和純理論研究，即：在前者是先有目標，而後尋求達到目標的方法；在後者是先作出發現，然後尋求用途。

有些地方的知識界有一種鄙視應用研究的傲慢傾向，主要由兩種錯誤的觀念造成。一種認為新知識主要由純理論研究發現，而應用研究只是應用已得的知識；一種認為純理論研究是一種高級的腦力活動，需要更高的科學研究能力，而且其難度也更大。這兩種觀點都是十分錯誤的。很多重要的新知識都是通過應用研究發現的：例如，細菌科學主要起源於巴斯德對啤酒業、葡萄酒釀造業和蠶絲業中實際問題的研究。通常，應用研究比純理論研究更難獲至成果，因為研究人員必須堅持解決既定的任務，而不能任意追蹤可能出現的、有希望的線索。還有，在應用研究方面，大多數領域已經被人探索過，很多簡單的、顯而易見的問題已經解決了。我們切不要將應用研究與某些學科中應用現有知識的例行步驟相混。我們既需要純理論研究，也需要應用研究，二者是相輔相成的。

要解決實際問題，僅僅應用現有的知識是不夠的。我們經常會發現知識中需要填補的空白點。此外，如果在應用研究中僅限於解決眼前的問題，而不去努力理解其內在的原理，那麼，這種解決的法也或許只適用於局部的具體問題，而無廣泛普遍的意義。這可能意味著，類似的和相關的問題必須從頭開始研究。而如果最初研究得法，則可收舉一反三之效。即便如具體發展某項發現的簡單任務，也可能帶來意想不到的困難。在使用新的殺蟲劑六六六作為羊的浸洗液之前，曾作過認真的檢驗和實地試驗，證明無毒無害。但是，儘管做過大量的試驗，在牧場廣泛使用時，很多羊在浸洗後卻得了跛足病。經研究證明：這種跛足病不是由於六六六的緣故，而是由於某種細菌的感染，某些羊攜帶的細菌污染了浸洗液。從前使用的浸洗液有殺害這種細菌的作用，而六六六卻沒有。在生物學上對照物所發生的問題常常因地而異。瘧疾寄生蟲有時以某一不同種的蚊子作為中間宿主，肝吸蟲也可能利用一種不同的釘螺作為中間宿主。在試圖把新發現的知識用於具體問題時，純理論科學便涉及到應用研究。然而，應用研究科學家並不滿足於等待理論研究科學家的發現，儘管這些發現很有價值。理論研究科學家在他不感興趣的方面留下了重大空白，應用研究工作者就可能不得不在這些方面進行基本研究，以填補這些空白。

科學研究還可分成開闢新領域的探索性研究和發展前者（新領域的探索性研究）的發展性研究。探索性研究比較自由，富於冒險性，偶而能作出重大的，也許是意外的發現；有時則可能一無所得。發展性研究通常由按部就班、一絲不苟的科學家進行。他們安於去鞏固已獲得的進展，在已開闢的領域內探索較小的發現，並付諸應用以充分利用已取得的成果。後一種有時稱為『混飯吃』的研究或『安全第一』的研究。

『跨領域 *borderline*』研究是一種在兩門學科交界領域內進行的研究。科學家如有廣泛的科學基礎，能運用並聯繫兩種學科中的知識，則很容易獲得成果。甲學科中一項普通的事實、原理或技術，應用於乙學科時，可能是非常新奇而有效。

科學研究還可分成不同的階段，隨着一種學科或一項課題的進展而先後達到。首先是觀察型的研究，由實地考察的博物學家或由實驗室中具有類似智力的科學家來進行。原始的粗略現象和素材經過逐步提煉變成更精確但更受條件限制的實驗步驟，而最終變成精細的物理和化學過程。任何一個人，他所具有的專業知識，在某個研究階段上要想超出一定的範圍，實際上是不可能的。博物學家的作用並不低於他的同事，他的成就主要歸功於他的觀察能力和天生的穎慧，但常常缺乏深刻的基礎科學知識，因此不能充分發展自己的發現。而另一方面，一個基礎科學方面的專家，可能在思想上和實踐上都脫離自然現象太遠，不能像博物學家那樣去開闢新的研究方向。

### 科學研究中的移植法 *The transfer method in research*

一切科學上的進展都是以先前的知識為基礎的。發現者是為大廈的拱門提供冠石的人，他們把主要由別人建造的完整結構揭示於世界。然而在這一節裏，我不想多談作為發展基礎的知識背景，而想談談如何使一種新的知識適用於不同的條件和環境。

有的時候，決定一項研究的基本思想是來自應用或移植其他領域裏發現的新原理或新技術。這種取得進展的方法稱為研究中的『移植法』。這也許是科學研究中最有效、最簡便的方法，也是在應用研究中運用最多的方法。但決不可因此而輕視它。科學上的進展來之不易，所以必須運用一切有用的方法。這類貢獻與其稱做『發現』不如稱為『發展』，因為它並未披露新的原理，揭示新知識也有限。然而，在把新發現的原理或技術應用於不同的問題時，通常會取得一些新的知識。

移植是科學發展的一種主要方法。大多數的發現都可應用於本身領域以外的領域。而應用於新領域時，往往有助於促成進一步的發現。重大的科學成果有時來自移植。利斯特移植了巴斯德證明腐爛是由細菌造成的這一成果，發展了外科手術的消毒法。

人們也許以為，新發現一經公布，它在其它領域內所可能引發的應用就會立刻自動地接踵而來，但實際情況很少如此。科學家有時看不到其它領域中的新發現對自己工作可能具有的意義，或是雖看到了但不知道該做何種必要的修改。從發現細菌學和免疫學的主要原理，到把所有這些原理應用於各種疾病，中間經過了漫長的歲月。在赫斯特用流行性感冒病毒發現病毒可使血液凝集的原理以後，過了一段時間才發現，這一原理也同樣適用於其他多種病毒。當然，正如人們可以想法到的，須略加修改。後來，才發現這一原理也適用於某些細菌。

利用其他學科採用的新技術，是移植方法的一種重要形式。有些研究人員有意識地採用一種新技術，然後尋找一些可把這種新技術運用在其中的課題，借助新技術的特殊優點另闢蹊徑。舉例說，色層分離法和血液凝集法就曾這樣運用於與其最初發

現的領域相距甚遠的方面。

使用移植法有可能促成科學的進展，也許這就是為什麼研究人員對自己狹窄的研究範圍之外，具有重大意義的問題要有所了解的主要原因。

在本節裏我們不妨再提一下某些早經運用，但卻無科學根據的習俗與實踐經驗方面的科學發展，許多治療方面的藥物就是這樣被採用的。奎寧、可卡因、馬錢子和麻黃素等藥物，在進行研究認識其藥理作用之前，早就被採用了。據說，可提煉麻黃素的麻黃草的醫藥性能，早在五千年以前的中國，就由神農皇帝發現了。南美的土著發現奎寧、可卡因和馬錢子的經過已湮沒無考，但顯然，一定是純經驗的。順便提一下，人們提取奎寧的金雞納樹就是以金雞納伯爵夫人的名字命名的。這位夫人一六三五年用金雞納霜治癒瘧疾，後來又把它從秘魯引進歐洲。這類研究還有一例，即那些古老的加工行業，如蹂皮、製酪和各種醱酵法。很多這類加工程序，今天已發展成精確的科學步驟，得到改進，或至少是可靠性更大。種牛痘也許可算在這一類。

## 戰術 *Tactics*

為了考察並更好地理解一個複雜的過程，有時把這個過程分解成若干部分，然後分別加以考慮，這種方法常常很有幫助。我在這篇有關科學研究的專著中也是這麼做的。我先後描述了假設：推理、實驗、觀察、機遇和直覺在科學研究中的作用，並指出每一因素的特殊用途和不足之處。然而，在實際生活中，這些因素當然不是單獨作用的。通常需要幾個或所有的因素同時在研究中聯合發揮作用，雖然解決問題的關鍵往往只需一個因素，這一點我們可從上述的一些小故事中看到。

第一、二章中概述了解決實驗醫學和生物學上簡單問題的方法，在以後的幾章中又相繼討論了每個因素在研究中的特殊作用。章節順序的排列並無特殊意義，其篇幅的長短也與重要性無關。現在留待討論的只是一些有關戰術的考慮。為此，我們不妨把別處已經談過的各點再扼要重述並匯通。

進行科學研究並無一定的力法可循。研究人員應發揮自己的聰明才智、創造精神和判斷能力，並利用一切有用的方法。席勒寫道：『成功的方法必有價值。... 成功證明：在這一項研究上，研究人員做對了。他所選擇的重要事實，他所排斥的其它不相關部分，他應用『定律』將這些事實連綴起來，他作的推理，他感到的類似處，他對各種可能性的權衡，他作的猜測，他擔的風險，都對了。但僅是在這一項研究上。到了下一次研究時，雖然他認為這個項目與上次『基本相同』，而且看來是少有的相像，但是他會發現區別（兩個不同項目永遠有區別）是關係重大的，必須對自己的方法和假設有所修改，方能成功地解決它。』

有人把科學研究比做向未知世界開戰，這種說法使我們想到在戰術上可資借鑒的地方。首先考慮的是要有充分的準備工作，包括整理獲得的一切資料以及調配必要的物資和器材。進攻者如能設法擁有一種新式技術武器，就更具有利條件。最有希望取得進展的方法是：把兵力集中在敵軍最薄弱的地區。可用初步偵察和佯攻的方法發

現敵人的薄弱環節；如遇敵軍頑抗，則最好用計謀迂迴前進，避免正面強攻。在偶爾取得重要突破的時候，雖然頗有風險，但最好的方法還是迅速佔據大塊土地，而把鞏固陣地的工作留給後來人，當然前提是：工作很重要而足以吸引他們。然而，一般說來，進展是一步一步取得的。奪取新陣地後，必須鞏固已經奪取的陣地，才能把它作為下一步進攻的基地。這是進展的正常形式，不但在科學研究中是這樣，而且在一切形式的學術研究中都是如此。收集了材料以後，自然就要稍事停頓，予以綜合，加以解釋，然後，下一步是根據得到的新結論再去收集原始資料。

即使在應用研究方面，例如在對人體或家畜疾病的研究上，通常也是先盡力找出某個方面的問題，而不是有意以某一種特定的實際用途為目標。經驗給我們作了肯定的證明：充分理解問題，就幾乎一定能發見有用的事實。有時，發現致病寄生蟲生活周期中的某個薄弱環節，就能找到簡便的控制方法。想到這種可能性，在研究病毒或腸蟲之類傳染因子時，思考它的生命特性，仔細研究它如何生存，特別是在從一種宿主到另一種宿主的過渡期間如何生存，是很有好處的。

生物學上的新發現往往是恆常的現象，所以第一個目的通常是把新發現提煉為定量的，且能再現的過程，最後終於能歸結為化學或物理的根據。值得一提的是，在主要的科學期刊上，大部分的研究都自稱其目標是揭示某種生物過程的作用機制。我們的一個基本信念是：一切生物作用最終都能用物理學和化學加以解釋。以神秘的所謂『活力』為假設的活力論，以及以一種超自然的支配力量為假設的目的論，都早已為實驗生物學家所摒棄。但是，將目的論的含義加以修正，還是可以讓人們承認的，即理解為某個器官或某種功能所達到的目的，是幫助整個有機體或整個物種得以生存。

在科學上，最受尊崇、最受歡迎的進展，莫過於對新定律和新原理的認識，以及某些對人類最有實際用處的新事實的發現。通常，人們不太重視新的實驗技術和儀器的發明，儘管引進一項重要的新技術往往同新定律、新事實的發現一樣，能大力推動科學的進展。細菌的固體培養基、細菌濾器、病毒的血液凝集作用，以及色層分離法都是突出的例子。研究人員和科學研究的組織人員，如能對新技術的發展多加重視，必會有所裨益。

法拉第、達爾文、貝爾納以及幾乎所有的偉大科學家，都有這樣的特點：他們根據自己的發現，深入進行研究，不到窮盡，決不罷休。前面所述貝爾納針對家兔消化作用所做的實驗，就很好地說明了這種態度。當霍普金斯發現，某種蛋白質試驗法是由於試劑中含有二羥醋酸雜質的時候，他深入研究，找出二羥醋酸與蛋白質中何種基團相互作用，最後導致他作出著名的色胺酸離析。任何一個新事實都是一種潛在的、重要的新武器，有可能用來進一步揭示知識；一項小小的發現可能導致重大的發現。正如廷德爾所說：『知識一經獲得，便給自己的周圍投射上微弱的光亮。意義十分有限而不能披露自身以外事物的發現是沒有的。』新發現一旦作出，成功的科學家立刻從各個可能的角度予以觀察，並將它與其它知識相聯繫，找出科學研究的新途徑。科學發現中真正持久的愉快並不來自發現本身，而是由於想到有可能把它用作新進展的階梯。

當發現有成功希望的線索時，應儘可能暫時放下其它活動或自己興趣的問題，而全力追蹤這個線索。這一點，一個稍具有研究精神的人是無需別人教給他的。但是，在研究過程中，進展往往非常困難，常常是『山窮水盡疑無路』。這個時候，我們需要想方設法，千方百計，用盡一切聰明才智。也許，首先應該嘗試的是把問題放下幾天，然後從新的角度重新加以考慮。將一個難題暫時擱置起來有三個好處：能有時間進行『孕育』，即讓頭腦的下意識部分消化資料；有時間讓頭腦忘卻那些受條件限制的思考；最後，不再固執地想一個問題，也就是避免鑽牛角尖。這種暫時放下的原則，在日常生活中當然是被普遍採用的。例如，對一個困難問題不馬上表明態度，而要『睡過一覺』再做決定。本書其它章節已強調過討論的用處，主要不在於尋求技術上的建議，而在於啟發新思想。討論還能幫助人們透徹地理解問題，這一點是非常重要的。

當人們處於絕境時，另一個應該嘗試的方法是：從頭開始，從不同的角度看問題，找出新的途徑。有時會從實地或臨床搜集到更多的資料，這些觀察到的新現象也許會有助於產生新想法。在把問題設計成實驗方案來進行探討時，研究人員可能由於選擇不當，以致做了無效的、錯誤的歸納，而在重新觀察原始問題時，他可以選擇另一個方面來研究。有時，可把難題分成若干個比較簡單的部分，分別加以解決。如果困難還解決不了，或許還可選擇別的技術方法來克服；在眼前的問題與其他已解決的問題之間，尋找相似的地方，可能會有所幫助。

為解決難題而一再努力之後，如果仍未有進展，那麼，通常最好是先把它放下幾天或幾個月，而進行別的工作，但仍不時考慮和討論它。有時一個新想法的產生，或是其他領域裏出現的一個新進展，可使我們重新開始研究這個問題。如果沒有新的進展出現，則只能放棄這個問題，認為根據目前有關領域的知識水準是無法解決的。然而一遇困難，或為別的研究方向所吸引而立刻衝動的放下手裏的難題，這可是科學工作者自身的嚴重缺點。一般說來，研究一經開始，研究人員就應竭盡全力去完成。一個不斷改變自己的任務，去追逐新想到的高明想法的人，往往會一事無成。

研究工作將近完成時，應予以書面報告供出版用。這在工作結束以前就應該著手進行，因為常常會發現一些空白點或薄弱環節；要乘手邊還有材料的時候加以彌補。即使研究工作未近完成，也最好每年寫出一篇研究報告，因為，如果不這樣做，待工作將近完成時再根據以前的筆記寫作，對實驗的記憶就會淡薄，工作就會增加困難，不易做好。此外，對研究的問題最好能定期回顧，理由在前面已有陳述。但是，未獲重要成果的研究工作則不宜發表，它使科學期刊質量降低，並有礙作者在有識之士心目中的聲譽。

工作完成以後，應該請一位有經驗的同事對文章提出意見，這不僅是由於這位同事可能比作者更有經驗，而且也因為人們更易看出別人著作或語言中的毛病。

這裏要提請大家注意，不要輕易發表未得明確結論的研究工作，特別是不要輕易作出未經實驗結果或觀察到的現象充分證明的解釋。白紙上的黑字將永存於文獻之中，發表的論文如果日後證明錯誤，將有損作者的科學聲譽。一般說來，一個安全的方法是：忠實記錄所得的結果，謹慎地提出對結果的解釋，嚴格區分事實與解釋。過

早地發表不能證實的工作，曾經損害了一些很有前途的科學家的名譽。大多數的科學家，對於最高級的形容詞和誇張手法都是深惡痛絕的，偉大的人物一般都是謙虛謹慎的。一八三一年法拉第給一位朋友寫信說：『我現在又忙在搞電磁效應，我覺得自己搞出點東西來了，但還沒把握。可能是根草，而不是一條魚，但是，經過這一番努力以後，總算可以拉出來了。』他拉出來的是一只發電機。一九四〇年弗洛里爵士給洛克菲勒基金會寫信，請求資助他有關青黴素的研究，當時他已很有根據，相信青黴素將成為一種比磺胺更有效的藥劑。人們以為在這樣一封信中，他會把自己的研究說得盡量好聽一些，但弗洛里肯於說出的就是下面這些：『這是一項很有希望的研究，我覺得這樣說並不是過於樂觀的。』日後證明這是一句多麼典型的過謙之詞啊！

我承認，我一直到將近寫完這本書時才讀了培根的著作。讀後我才體會到培根多麼清晰地看到大部分的發現都是經驗性的。我在研究了近代獲致成果的各種方法以後，也產生了同樣的觀點。培根贊同地引用了塞爾薩斯 (Celsus)的話：『首先找到藥物，然後再論述理由和原因；而不是先找出原因，再根據原因發現藥物。』再沒有比塞爾薩斯一千八百多年前所說的關於醫學科學的話，更能恰當地評述本世紀在化學治療方面所取得的進展了。當人們想到機遇和經驗是生物進化發展的方法時，也許就不再奇怪為什麼這些因素在生物學研究上起如此重要的作用了。

在科學研究中，我們常常必須最大限度、甚至超出限度地使用我們的技術，像肖汀 (Shaudinn)發現梅毒的蒼白螺旋體那樣，別人用當時所用的方法是很難發現的。在推理上也是如此，因為新發現通常不是推理所能做出。

物理學與生物學一樣，使用歸納邏輯是不夠的。愛因斯坦在這點上說得十分清楚：『決不能用歸納法來發現物理學上的基本概念。十九世紀許多科學研究工作者不認識這一點，他們最基本的哲學錯誤就在於此。... 我們現在特別清楚地認識到：那些相信歸納經驗就能產生理論家是多麼的錯誤啊！』

在正規的教育中，如果不是明白地，也是含蓄地讓學生相信，推理是科學進步主要的或甚至是唯一的手段。這一觀點得到所謂『科學方法』概念的支持，主要是上世紀某些對科學研究知之甚少的邏輯學家闡述的。在這本書裏我試圖指出這種觀點的錯誤，並強調推理作為一種工具在作出新發現過程中的限度。我並不懷疑，在已知的領域內推理是最好的指導，儘管在這個範圍內使用推理的風險也往往超出人們的估計。但是在科學研究中，我們不斷在已知領域之外摸索，這裏的問題不是放棄或不放棄推理，而是我們發現：由於沒有足移的知識作為正確推理的依據，我們根本無法運用推理。與其欺騙自己說：面對著知識不足、概念模糊的複雜自然現象，我們能夠有效地運用推理；依我看來還不如公開承認說：我們常常要訴諸於鑑賞力，要承認機遇和直覺在發現中的重要作用。

在科學研究中，顯然和在日常生活中一樣，我們經常必須根據個人的判斷來決定自己的行動。而個人判斷的依據則是鑑賞力。唯有科學研究的技術細節，在純客觀、純理性這個意義上才是『科學』的。儘管初看起來這點十分荒謬，但是，事實正如喬治所說：科學研究是一種藝術，不是一種科學。

## 提要 *Summary*

戰術最好由從事研究的工作人員制定。研究人員還應有權參與戰略規劃的制定。但是，在這方面，研究工作的指導人員，或是包括熟悉該工作的科學家的技術委員會，都能經常對研究工作者有所幫助。委員會的主要職能是計劃方針性的事務。人們只能計劃科學研究，而不能計劃新發現。

移植到另一科學領域的新發現，往往有助於揭示新知識。關於如何最好地開展科學研究中的各種活動，作者已作了一些提示，但卻無法制定明確的規則，因為科學研究是一種藝術。

科學研究的一般戰略是：研究時要具有明確的目標，但同時亦要保持警覺，注意發現並捕捉意外的時機。

## 第十一章 科學家 Scientists

在進步的世界中，發揮作用的不是我們的才能，而是我們如何運用才能。

- 布雷斯福德·羅伯遜 -

研究工作要求的性格·鼓勵和報酬·科學研究的道德觀·各種類型的科學頭腦·科學家的生活·提要

### 研究工作要求的性格 *Attributes required for research*

研究人員在很多方面酷似拓荒者。研究人員探測知識的疆界需要具有很多與拓荒者同樣的品格：事業心和進取心、隨時準備以自己的才智迎戰並克服困難的精神狀態、冒險精神、對現有知識和流行觀念的不滿足、以及急於試驗自己判斷力的迫切心情。

也許，對於研究人員來說，最基本的兩條品格是 對科學的熱愛 和 難以滿足的好奇心。一般來說，愛好科學研究者比常人保有更多好奇的本能；一個人的想像力，如果不能因想到有可能發現前人從未發現過的事物而受到激勵，那麼，他從事科學研究只是浪費自己和他人的時間而已，因為只有那些對發現抱有真正興趣和熱情的人才會成功。最有成就的科學家具有狂熱者的熱情，但又受到客觀判斷自己成果，以及必須接受他人批評這兩點的轄制。一個熱愛科學的人往往也具有科學鑒賞力，而且，在面對挫折失敗的時候，只有熱愛科學才能不屈不撓，百折不回。

聰明的資質、內在的幹勁、勤奮的工作態度和堅韌不拔的精神，這些都是科學研究成功所需的部分條件。其它各行各業也大抵如此。科學家還必須具備想像力，這樣才能想像出肉眼觀察不到的事物如何發生、如何作用，並構思出假設。科學家往往不好相處，因為他對自己的看法並無很大的信心，而對別人的觀點又抱懷疑態度，這種脾性在日常生活中是容易使人為難的。卡恰爾在談到思想的獨立性對科學家之重要時說：謙恭態度也許適合於聖賢，但對科學家卻未必。

幾乎所有有成就的科學家都具有一種百折不撓的精神，因為大凡有價值的成就，在面臨反覆挫折的時候，都需要毅力和勇氣。達爾文的這種性格非常突出，據他兒子說，他的這種性格超出了一般的堅韌性，可形容為頑強。巴斯德說：『告訴你使我達到目標的奧秘吧，我唯一的力量就是我的堅持精神。』

人可以大體分成兩類。一類人慣於對外界的觀念(包括別人的思想)起強烈的反應。一類人則消極被動地接受一切事物。前一類人甚至在孩提時期就對別人所教的一切提出疑問，並往往叛逆傳統和習俗。他們富有好奇心，要自己去探索事物。第二類人更容易適應生活，而且在其它條件相同的情況下，更能積累正規教育所傳授的知識。後一類人的頭腦充滿了公認的觀點和固定的看法，而反應型的人則具有較少的固定觀

念，他們的思想更自由、更具變化性。當然，並不是每一個人都可按照這兩個極端來劃分，從而隸屬於某一種，但顯然，接近被動型的人是不適於從事研究工作的。

怎樣選擇有前途的人來從事科學研究工作，或是判斷自己是否適宜，這是個難題。列出一連串所需的品格條件，對解決這個難題並無多大幫助，因為目前還沒有一種客觀的手段來衡量所列出的特點。然而，心理學家有一天也許會解決這個問題。例如，可以設計一種試驗，來測驗人們日常生活方面的知識。這可以衡量人們好奇心和觀察力的強弱程度，即他『發現』周圍環境中事物的成功率，因為生活就是一個不斷尋找發現的過程。還可以設計一些試驗，來檢驗人們概推的能力，以及能否提出與已知資料相適應的假設之能力。也許對科學的熱愛程度可這樣來考察：看他們在獲知科學上的新發現時，是高興還是無動於衷，據此進行判斷。

普通的考試並不足以說明學生研究能力的強弱，因為考試往往有利於積累知識的人，而不利於思想家。出色的考生並不一定善長於研究工作，而另一方面，一些著名的科學家則往往在考試上表現得不好。埃利希完全是靠著主考官的好心而通過醫學畢業考試的，因為主考官很有見識，承認他有特殊的才能。而愛因斯坦則在工藝學校入學考試中不及格。比起那種不加懷疑地接受全部教學內容的學生，善於思考、勇於批判的學生，在積累知識方面很可能是處在不利的地位。尼科爾甚至說：具有發明天才的人不能積累知識，拙劣的教學、固定的觀念以及飽學多讀會扼殺創造精神。

我注意到，在英國許多生物學或非生物科學方面的研究人員都是博物學家，或者在青年時期曾是博物學愛好者。年輕人愛好博物學的某一學科，進行深入研究；這也許是一種可貴的跡象，說明他有研究的才能。這表明他從研究自然現象中得到興趣，並很想親自通過觀察來認識事物。

目前，挑選有前途的、有研究才能的人，也就是勞斯 (Rous) 所說的『找到發現者』唯一的方法是：給候選人以機會，至少有一、兩年的時間來作科學研究的嘗試。除非年輕科學家確實表現了研究方面的能力，否則最好不要給他永久性的研究職位。這種謹慎的態度不僅關係到科學家未來的物質生活和幸福，而且對研究機構也有好處。大學生在校期間最後一年應有機會涉足研究，因為這有助於初步證明某人是否適於做研究工作。一個年輕的畢業生如果採取措施謀求一個研究工作的職位，那就表明他有從事科學研究的真誠願望；換言之，最優秀的研究人員往往自己會決定自己。

不管科學研究究竟需要何種智力條件，總之大家公認：並不是人人都能從事研究工作而有所成就的，正如並非人人都有作曲的才能一樣。然而，缺乏這些條件的人，並不等於在其它方面的智力和能力有缺陷。

### **鼓勵和報酬** *Incentives and rewards*

具有研究頭腦的人受到未知世界的挑戰所吸引，並樂於施展才智以尋求答案。這只是許多人從解答難題中得到樂趣的一種表現，即使沒有獎勵也如此，填字字謎和偵探小說之所以受人歡迎就證明了這點。附帶說一句，埃利希喜歡閱讀偵探神秘小說。對某

一科學項目發生興趣，有時是出於研究物質的內在美，有時是由於研究採用的技術。博物學家和動物學家有時受某種動物的吸引而從事研究，是由於他們發現那種動物外表討人喜歡；細菌學家喜歡使用某種技術，可能是由於這種技術符合他的藝術感。很可能正是由於埃利希酷愛鮮艷的色彩（據說鮮艷的色彩能使他產生極大的快感），使他對染料產生了興趣，並從而決定了他研究工作發展的方向。

愛因斯坦認為研究人員分為三種：一種人從事科學工作是因為科學工作給他們提供了施展他們特殊才能的機會，他們之喜好科學正如運動員喜好表現自己的技藝一樣；一種人把科學看成是謀生的工具，如沒有機遇也可能成為成功的生意人；最後一種人是真正的獻身者，這種人為數不多，但對科學知識所做的貢獻卻極大。

有些心理學家認為：人們最出色的工作，往往是在處於逆境的情況下做出來的。思想上的壓力，甚至肉體上的痛苦都可能成為精神上的興奮劑。很多傑出的偉人都曾遭受心理上的打擊以及各形各色的困難，若非如此，也許他們是不會付出超群出眾所必需的那種勞動的。

科學家很少因自己的勞動而獲得大筆金錢酬報，所以對於工作成果帶給他的一切正當聲譽，他是當之無愧的。但是，最大的酬報是新發現帶來的激動。正如許多科學家所證明的，這是人生最大的樂趣之一。它產生一種感情上巨大的鼓舞和極大的幸福與滿足。不僅是新事實的發現，甚至對一個普遍規律的突然領悟，都能造成同樣狂喜的情感。正如克魯泡特金所寫：『一個人只要一生中體驗過一次科學創造的歡樂，就會終生難忘。』

貝克引用了一個故事，說的是偉大的英國生物學家華萊士作出了一個小小的發現。華萊士寫道：『只有一個博物學者才能理解我最終捕獲它（新的一種蝴蝶）時體驗到的強烈興奮感情。我的心狂跳不止，熱血衝到頭部，有一種要暈厥的感覺，甚至在擔心馬上要死的時候產生的那種感覺。那天我頭痛了一天，一件大多數人看來不足為怪的事竟使我興奮到極點。』

在證明了可以用牛痘接種法使人們不受天花感染時，詹納興高采烈，得意洋洋。談到這點時他寫道：『我想到我命裏注定要使世界從一種最大災難中解脫出來時 ... 我感到一種巨大的快樂，以至有時沉醉於某種夢幻之中。』

巴斯德和貝爾納對這種現象作了下述評論：『當你終於確實明白了某件事物時，你所感到的快樂是人類所能感到的一種最大的快樂。』

『獲得新發現時感到的快樂，可說是人類心靈所能感受的最鮮明而真實的感情。』

發現者有一種要同事與自己分享快樂的強烈願望。他往往闖進朋友的實驗室，報告情況，拉人家來看結果。大多數人在獲致新進展後，如能與同一研究課題或因工作性質接近，而真正感興趣的同事分享歡樂和高興，那這種樂趣的享受是會倍增的。

新發現給人激勵，使過去所遇挫折和失敗造成的沮喪失望，即刻蕩滌一盡，從

而使科學家工作幹勁倍增。而且，他的同事也受到激勵，所以，一項新發現為下一步的發展創造了有利條件。但遺憾的是，事情並不總是這樣。我們往往發現自己高興得太早，是一場空歡喜。隨之而來可能是深深的抑鬱和沮喪，這時如有同事加以鼓勵，是會有幫助的。『忍受痛苦』而不氣餒，是青年科學家必修的一課。不幸的是，在科學研究中失敗多於成功；科學家往往不能獲得進展，而碰到了似乎是不可逾越的障礙。只有曾經探索過的人們才懂得：真理的小小鑽石是多麼罕見難得，但一經開采琢磨，便能經久、堅硬而晶亮。卡爾文 (William Thomason Calvin) 勳爵寫道：『我堅持奮戰五十五年，致力於科學的發展，用二個字可以道出我最艱辛的工作特點，這二字就是 失敗。』

法拉第說，就是最成功的科學家，他在十個希望和初步結論中，能夠真正實現的也不到一個。當人們感到沮喪時，也許可以從這兩位大科學家的經歷中聊以自慰。年輕的科學家應該儘早懂得，科學研究的成果來之不易，他如想獲得成功，必須具有耐力和勇氣。

### 科學研究的道德觀 *The ethics of research*

有一些道德觀點是科學家普遍承認的。其中最重要的一條是：在報導研究成果時，作者對他所參考的前人成果，以及任何曾經實質上為他的研究提供過幫助的人，有責任給予應有的肯定和感謝。這條不成文的基本法規並不一定受到應有的尊重。違犯者應該懂得，雖然在不知內情的讀者眼裏他們提高了聲譽，但是，卻完全抵不過了解情況的幾個內行人帶給他們的恥辱。這些人的意見才是真正舉足輕重的。我們有時聽到某人在談話中，引用別人的意見就好像是自己的一樣，這是對上述不成文法規常見的輕微觸犯。

科學上嚴重的不道德行為是：盜竊別人談話時透露的想法或初步的成果，加以研究，然後不經許可就予以報導。這不比普通的竊盜好多少。我曾聽到人們把一個屢犯不改的人稱為『科學強盜』。違犯了這種道德的人是不易再受信任的。另一種不妥的行為是：一個研究工作的指導者僅僅指導了某項研究，但在聯名發表時他的名字排在第一，這樣就把研究工作的主要功勞攬為己有。遺憾的是，這種現象並不如人們想像的那麼罕見。名字排在前面的作者是資格較高的作者，但所謂資格高指的是他在這項研究中負責的工作多，而不是指他擔任的職位高。大部分指導人員更關心的是鼓勵青年工作人員，而不是自己搶功。我這裏並不是說，如果老資格的研究人員在研究工作中確實發揮了作用也根本不應提自己的名字。過於認真且慷慨大方的人有時就是如此。但是，最好的辦法常常是把自己的名字放在年輕科學家名字的後面，這樣，年輕人就不會僅僅被當作是『參予合作者』之一而遭忽視。在年輕作者自己尚未成名時，附上一個在研究工作中出過力的知名科學家的名字，有助於作為工作質量的保證。每個科學家都有責任慷慨地給予建議和意見，並且，通常不應該因給予這種幫助，而要求別人來表示正式的感謝。

我的一些同事和我本人都曾發覺，有時我們認為是新想法的東西，在查看了自

已先前針對此課題所作的筆記後，發現並不是獨創的。這種不完全的記憶有時造成不自覺地剽竊了別人的想法。有時別人談話中提到的想法，後來在回憶時想不起是誰說的，從而以為是自己的。

完全的誠實當然是科學研究所必要的態度。正如克拉默 (Cramer) 所說：『從長遠來看，一個誠實的科學家是不吃虧的，他不僅沒有謊報成果，而且充分報導了不符合自己觀點的事實。道德上的疏忽在科學領域裏受到的懲罰，要比在商業界嚴厲得多。』把自己的佐證作最有利的報導是徒勞的，因為嚴峻的事實日後總會被別的研究人員所披露。實驗人員自己最清楚自己成果中最可能的謬誤；他應該老老實實地報道自己的工作，必要時指出可能出現的錯誤。如果作者發現自己後來不能證實原先報導的一些成果時，他應該發表更正，以免使別人誤入歧途，或是費了九牛二虎之力去重複這項工作，而結果只是知道它是錯誤的理論。

當一個科學家開闢了一個新的研究領域時，有些人認為有禮貌的做法是，不要立即衝進這個領域，而應在一段時間內將它留給發現者，讓他有機會去收獲第一批成果。我個人看不出有什麼必要這樣做，只要第一篇論文已經發表就行了。

不利用別人得到的知識而作出新發現幾乎是不可能的。如果科學家們不匯集他們的貢獻，就不可能積聚今天我們所能得到的豐富的科學知識寶藏。將實驗結果和觀察到的現象發表出版，以便別人可以利用並給予批評，這是作為現代科學基礎的一條基本原則。保密違反了科學上的最大利益和科學精神，它使科學家個人無法為科學的進一步發展作貢獻。這通常意味看：科學家或他的雇主，想要利用別人慷慨提供的知識為基礎，繼而發展來為自己的私利服務。很多工業上和政府國防部門的研究工作是秘密進行的，在今天這樣的世界，這似乎不可避免，但是，在原則上卻是錯誤的。理想地說，只要研究成果有一定的價值，那麼，出版自由應是一切研究人員的基本權利。據說，甚至在農業研究方面，偶或有研究成果因有礙政府當局的臉面而受到壓制的現象，這似乎是一種危險而又短視的政策。

實驗室不受限制，而研究人員將實驗活動保守秘密的情況還是常見的。這些研究人員害怕別人剽竊他們的初步結果，搶在他們自己之前作出成果並予以發表。這種暫時保密的形式不能看成是破壞科學道德。然而，這種情況儘管可以理解，卻不應予以提倡，因為自由交流情報和思想有助於加速科學的發展。但是，別人請你幫他保守秘密，是應該受到尊重的，不應再把這些資料傳給他人。一個旅行中的科學家參觀各類實驗室，他自己也許守信用，決不利用人家告訴他的未發表的資料，但是卻可能無意中把這樣的資料告訴了一個原則性不如他強的人。為了避免這種危險，這位科學家最好請別人不要把秘密告訴給他，因為要記住那些情況傳播上有限制，那些沒有限制是很困難的。

遺憾的是，即使在科學的領域內，偶爾也會遇到國家之間的妒忌。對別國所做的研究成果不讚賞、不承認。這一點，不僅作為對科學道德觀和科學國際精神的破壞是可悲的，而且，違犯者會自食惡果，常常損害了自己和自己的國家。不承認別國所做科學發展的人，可能被遺留在一潭死水之中，而且他的行為也說明他是個二流科學

家。在廣大科學家之間存在著一種天然同情、互相理解的國際精神，這是人們對人類未來抱有信念的一個主要原因。看到這一點被個人狹隘的私心所玷污，是令人沮喪的。

### 各種類型的科學頭腦 *Different types of scientific minds*

頭腦的作用過程各不相同。常常有人把科學家大體分為兩類，但這種分類法太主觀武斷了，絕大部分的科學家很可能是在兩個極端之間，兼有二者的特徵。

美國化學家班克羅夫特把一類稱為『預測型』(此處預測的意思指在事實尚未被理解時先提出敏銳的判斷或假設)：這一類型的科學家主要運用演繹法或稱亞里士多德法。他們首先提出假設，或無論如何也要在研究活動的早期提出假設，然後用實驗加以證明。另一類型班克羅夫特稱之為『積累型』，因為這一類型的人積累資料，直到結論或假設瓜熟蒂落，水到渠成。這些人運用歸納法或稱培根法。然而，演繹法、歸納法也好，亞里士多德法、培根法也罷，這些術語都會造成混亂，有時會被用錯。彭加勒和哈達馬根據數學家的主要研究方法是憑借直覺還是按照循序漸進、有條不紊的步驟，把他們分成『直覺型』和『邏輯型』兩種。這種分類法的依據似乎與班克羅夫特的相同。我則願把這兩類稱為『推測型』和『條理型』，因為這似乎是說明兩種類型主要區別的最簡單方法。

尼科爾區別兩種人，一種是具有發明才能的人物，他們不能貯存知識，也無需是絕頂聰明的人；另一種人是有著聰明資質的科學家，他們進行歸類、推理和演繹，但根據尼科爾的說法，他們沒有獨創精神或不能作出創見性的發現。第一類人運用直覺，他們訴諸於邏輯和推理僅是為了證明自己的發現。第二類人循序漸進地發展知識，恰如泥水匠壘磚砌牆，直至最後大廈竣工。尼科爾說，巴斯德和梅契尼科夫有很強的直覺，有時他們幾乎在作出實驗結果之前就發表了著作，他們做實驗主要是為了回答批評者。

班克羅夫特對各種不同科學家的思想方法作了下述的說明：卡爾文和漢彌頓 (W. Hamilton) 爵士屬於『條理型』，他們說過：『對於具有非科學型想像力的人來說，準確精細的測量似乎不及對新事物的探索那麼崇高尊貴；然而，幾乎所有最偉大的發現都是這樣作出的。』

『在物理學上，任何人只要有耐心、四體靈活、感覺敏銳，即使智力中下也能發現新事實。』把這最後一段話與下面戴維的話作一比較：『感謝上帝沒有把我造成一個靈巧的工匠，我的最重要發現是由失敗給我的啟發。』

多數數學家是推測型的。下面的三段話據說分別是牛頓、惠威爾 (William Whewell) 和高斯所說：『沒有大膽的猜測就作不出偉大的發現。』

『若無某種大膽放肆的猜測，知識是無法得到進展的。』

『我有了結果，但還不知道該怎樣去得到它。』

大多數生物學方面的優秀發現家也是推測型的。赫胥黎寫道：『人們普遍有種錯

覺，以為科學研究者做結論和概推不應當超出觀察到的事實。... 但是大凡實際接觸過科學研究的人都知道，不肯超越事實的人很少會有成就。』

下面兩段在不同場合說的話，表露了巴斯德有關這一問題的觀點：『如果有人對我說，在做這些結論時我超越了事實，我就回答說：是的，我確是常常置身於不能嚴格證明的想法之中，但這就是我觀察事物的方法。』

『只有理論才能激發和發揚發明創造精神。』

奧斯瓦爾德用以區分科學家的方法略有不同，他把他們分成『古典型』和『浪漫型』兩種。前者的主要特點是使每項發現臻於完善，工作方法有條不紊；後者有一大堆想法，但在研究時失於膚淺，很少徹底解決問題。奧斯瓦爾德說，古典型的人是驚腳的教師，在大庭廣眾之中往往手足無措；而浪漫型的人任意暢談他的想法，對學生有極大的影響。他會培養一些出類拔萃的學生，但有時也破壞他們的獨創性。而另一方面，正如哈達馬所指出的，高度直覺的頭腦往往十分矇矓。米斯 (Kenneth Mees) 認為：實用的科學發現和技術有三種不同的研究方法：(1) 理論的綜合、(2) 觀察和實驗、(3) 發明。他說，在一個人身上具有一種以上的上述研究方法是罕見的，因為每種方法要求不同類型的頭腦。

條理型的科學家也許更適宜於發展性的研究，而推測型則更宜於探索性研究；前者適於參加研究小組，而後者則或是單獨、或是當小組的領導人。泰勒 (E.L. Taylor) 博士描述了一個大型商業性研究機構的工作安排：他們雇用推測型的人來隨意進行想法；一旦這些人發現某個可能有價值的想法時，這個想法就不再讓他們過問，而交給一個條理型的研究人員去加以檢驗並充分發展。

然而，所謂推測型和條理型是兩個極端，也許多數科學家兼有二者的某些特點。學生可能發現自己趨於這一類型或那一類型的傾向。班克羅夫特認為，一種類型是很難轉化為另一種類型的。也許，最好每個人聽從自己的自然傾向，而且人們認為有許多科學家受了自己所遇到的教師過多的影響。最重要的是，我們切不可要求別人都照自己的思想方法去思想。如果一個天生是推測型的年輕科學家，受到一位條理型教師的影響，誤認為自己的想像力應受壓制以至被扼殺，那就是一樁極大的憾事了。一個能夠產生自己的想法並願意予以試驗的人，往往比缺乏想像力和好奇心的人更容易愛好科學研究，作出更大的貢獻並從中學到更多的東西。後者在研究方面能做有用的工作，但也許並不感到很大的樂趣。兩種類型的人都為科學發展所必需，因為他們會相得益彰、相輔相成。

正如本書其它章節中所提到的，哲學家以及論述科學方法的作者們常見的一個錯誤是，他們誤認為：系統地積累資料，最後根據簡單的邏輯作出結論和概推，這樣就可以獲得新發現。而事實上，只有很少數的發現是這樣作出的。

## 科學家的生活 *The scientific life*

對打算從事科學生涯的青年男女，說幾句科學研究中個人生活方面的話也許是有幫助

的。

年輕的科學家在閱讀本書以後，看到對他提出的種種要求也許會大吃一驚。他若不是一個願為『科學事業』獻身的難得人才，很可能就會放棄科學研究了，所以我必須再說幾句。我願立即向他說明，書中所談的只是一種求全的理想建議，而且，無需犧牲生活中的其它興趣，人們仍然能夠成為很好的研究工作者。如果有人願意把科學研究當作天職，成為愛因斯坦所說的真誠的獻身者，那是再好不過；但是也有很多偉大的、有成就的科學家，他們不僅過著正常的家庭生活，而且還有時間從事各種業餘愛好。直到不久以前，由於物質報酬是如此的菲薄，科學研究還完全是由獻身者去從事的。但今天，研究工作已經成為一項正規的職業了。然而，嚴格遵照早上九點到下午五點的工作時間是不能做好研究工作的，實際上，有些晚上必須用於學習。從事研究的人必須對科學真有興趣，科學必須成為他生活的一部分，被他視為樂趣和愛好。

科學研究的進展是不規則的。科學家偶然一次熱切地去追尋一項新發現，這時，他必須把全付精力傾注於工作之中，日夜思考。他如果有真正的科學精神，是會願意這樣做的：若條件不允許這樣做，則會損害他的活動力。研究人員的家人一般都懂得，如果此人要成為創造性的科學家，有時就必須盡力不使他在其他方面有所負擔和擔心。同樣，他實驗室的同事們通常也幫助他減輕日常工作或行政事務上可能的負擔。這種幫助並不會給他的同事或家人造成負擔，因為對大多數人來說，這種精力突然奮發的情況是太少見了。也許平均一年有二到六次，一次有一兩個星期，但各人的情況是大不相同的。然而，不要把這些話誤當作鼓勵培養『藝術家的脾氣』，而在日常事務中可以不負責任。

弗萊克斯納在規劃洛克菲勒研究所時，有人問他：『你準備讓你的人在研究所裏出洋相嗎？』這句話的意思是：只有願冒這種風險的人，才可能作出重要的發現。研究人員萬萬不可因怕出洋相或怕人說他『想入非非』而放棄自己的想法。有的時候，提出並深入研究一項新想法是需要勇氣的。人們還記得：詹納把有關種牛痘的計劃告訴一位朋友時，由於害怕受人嘲笑，而請他嚴守秘密的。

當我問起弗萊明爵士對研究工作的觀點時，他回答說：他不是在做研究，而是在做遊戲的時候發現了青黴素。這種態度代表了不少細菌學家，他們把自己的研究說成是『戲弄』這個或那個有機體。弗萊明爵士相信，正是做遊戲的人作出了最初的發現，而按部就班的科學家發展了這些發現。『遊戲』一詞意義頗深，因為它明白地意味著科學家的工作是為了怡情，為了滿足自己的好奇心。但是，如果是一個無能的人，『遊戲』則無異於隨便地摸摸這弄弄那，一無所得，沒有結果。戴爾爵士一九四八年在劍橋為巴克羅夫特爵士舉行的一次聚會上說，偉大的生理學家總是把科學研究看成是有趣的冒險。拉夫頓 (F.J.W. Roughton) 教授說，對巴克羅夫特和斯塔林 (E.H. Starling) 來說，生理學就是世上最開心的娛樂。

科學上的偉大先驅，雖然都曾熱烈地捍衛自己的想法，並時常為之戰鬥，但是，他們大多數在心靈深處卻是謙恭的人，因為他們太清楚了：比起廣闊的未知世界，他們的成就只是滄海之一粟。巴斯德在他的生命快要終結時說：『我虛度了一生』，因為

他想到的是很多他本可以做得更好的事。據說，牛頓在死前不久曾說：『我不知道世人怎樣看我，但在我自己看來，我只是像一個在沙灘上玩耍的男孩，一會兒找到一顆特別光滑的卵石，一會兒發現一只異常美麗的貝亮，就這樣使自己娛樂消遣；而與此同時，真理的汪洋大海在我眼前未被認識、未被發現。』

娛樂和渡假是一個個人需要的問題，但是，科學家如果連續工作時間太長，會喪失頭腦的清新和獨創性。在這方面喬伊特 (Jowett) 杜撰了一句很好的格言：『不緊不慢，不勞不息。』我們大多數人都需要娛樂和變換興趣，以防止變得遲鈍、呆滯和智力上的閉塞。弗萊克斯納對假期的看法與摩根 (Pierpont Morgan) 是一樣的。摩根有一次說，他不能用十二個月，卻能用九個月做一年的工作。但是，大多數科學家並不需要一年休假三個月。

我已經提到過科學研究中常有的失望，以及需要同事、朋友的理解和鼓勵。大家知道，這種不斷的挫傷有時會造成一種神經病，哈里斯 (H.A. Harris) 教授稱之為『實驗室神經病』；有時這種挫傷則會扼殺一個人對科學研究的興趣。必須保持極大的興趣和高漲的熱情，當研究人員必須吃力地、緩慢地從事某項研究而又無成果時，要保持這二者是很困難的。在別的行業裏，常常可以養成積習，因襲舊例；但是比起其它行業，科學研究中的這個問題就要嚴重得多。因為實際上，所有研究人員的活動都必須是他自己頭腦的產物。唯有在工作有所進展的時候，他才得到激勵，而不像生意人、律師和醫生，他們既可以從自己的主顧、委托人和求診者那裏，又可以因為自己能有所作為，而經常得到激勵。

經常同關心自己工作的同事討論研究工作，有助於防止『實驗室神經病』。神經病學上『精神發泄』的巨大價值已為眾所周知，同樣，告訴別人自己的困難，傾吐自己的失望，會使受到頓挫的研究者減少過度的煩惱和憂傷。

『實驗室神經病』最常見於把全部時間用於研究單一項目的科學家。有些人在同時研究兩個問題時，感到有足夠的緩衝和鬆懈。有些人則願將一部分時間用於教學、一般的診療工作、行政事務或其它類似職業上，使他們感到即使研究工作一事無成，他們也還是在做一些實際有用的事情，也還是在為集體做貢獻。各人情況需要分別加以考慮，但是研究工作要有成效，科學家必須把他的主要時間用於研究。

在談到這後一點時，坎農意味深長地指出：『這個時間因素必不可少。一個研究人員可以居陋巷、吃粗飯、穿破衣，可以得不到社會的承認。但是只要他有時間，他就可以堅持致力於科學研究。一旦剝奪了他的自由時間，他就完全毀了，再不能為知識作貢獻。』

在做了一整天別的工作以後，擠出一兩個小時的業餘時間來做科學研究是沒有多大用處的，特別如果這一天的工作是需要動腦筋的工作，因為，除了實驗室活動以外，科學研究還需要安寧的心境以便思考問題。此外，為了研究工作取得成果，有時必須面對挫折失敗鏗而不捨，而有一個現成的『逃避』場所，可能會造成不利條件。伯內特認為業餘研究通常會『稍遜一籌』的。

普拉特和貝克提出，一個科學研究人員或是有隨和、平易近人的好名聲但平庸無奇；或是喜怒無常但成績卓著；也許只能是二者居其一。對於僅只到實驗室來作科學參觀的來訪者應嚴格限制，然而，大多數研究人員願意犧牲時間同真正嚴肅關心自己工作的參觀者交談。

巴伏洛夫在臨死前寫道：『我對我國有志於科學的青年有什麼願望呢？首先，循序漸進。我一說起有成效的科學工作這條最重要的條件時，就不能不感情激動。循序漸進，循序漸進 ... 在未掌握前一項時決不要開始後一項。但是，切勿成為事實資料的保管員。要透徹地瞭解事物的奧秘，持之以恆地搜尋支配它們的法則。第二，謙虛 ... 切勿狂妄自大，目空一切。由於狂妄，在必須同意他人時你會固執己見，你會拒絕有益的、善意的幫助，你會喪失客觀的頭腦。第三，熱情，記住：科學是要求人們為它畢生貢獻的；就是有兩次生命也不夠用。在你的工作和探索中一定要有巨大的熱情。』

熱情是一種巨大的推動力量，但是，同一切與感情有關的東西一樣，有時變化無常。有些人一時感情衝動，但片刻即逝；而另些人卻能長時間保持對事物的興趣，而強烈的程度卻平平。在這方面，同在其它方面一樣，應該盡可能地瞭解自己。就我個人而言，當我心血來潮的時候，鑑於過去的教訓，我試圖客觀地估計形勢，決定我的熱情是否有堅實的基礎，或是否會在熱情燃盡以後，從此一蹶不振，很難再對這個簡題引起興趣。對問題保持興趣的一個方法是和同事分享這種興趣。這樣做還有助於使自己頭腦清醒，制止盲目的衝動。年輕人特別容易對自己的想法一時衝動，急於加以試驗，而欠缺批判的思考。熱情是一種非常可貴的動力，但是同一切動力一樣，必須充分認識其各方面的影響，才能用得恰當。

如果年輕科學家在畢業後的一兩年內，能夠找到可供他專心研究的工作方向，那麼他不妨排除其它課題進行專一的研究。但一般說來，在把全付精力用於某一方面的研究之前，他最好能獲得比較廣泛的經驗。工作單位的問題也是如此：假如他很幸運，發現他的同事和工作的條件都很好，他對自己的進展很滿意，那就謝天謝地。但是，換一換工作往往是很有幫助的，因為接觸新的環境和不同的科學領域，都能給人很大的激勵，尤其當科學家感到自己是在墨守陳規的時候。我自己就有這種感受，別人告訴我他們也有這樣的體會。一個不到四十歲的科學家，或許每三、五年就應從這個角度來考慮一下自己的工作。有時更換課題也有好處，因為研究同一問題時間過長，會使人腦力枯竭，得不出結果。

高級科學家更換工作往往很困難，同時對他們也是不合適的。對他們來說，休假年就是一個換換腦筋的機會；另一個方法是，安排各機構間科學家的短期互換。

一個人如果被隔絕於世，接觸不到與他有同樣興趣的人，那末，他自己是很難有足夠的精力和興趣來長期從事一項研究的。多數科學家在孤獨一人時停滯而無生氣，而在群集一起時就相互發生一種類似共生的作用，這正如培養細菌時需要有好幾個有機個體，生火時必須有好幾根柴一樣。這就是在研究機構工作的最有利條件。至於能得到同事的建議和合作以及借到儀器之類的事，則是次要的。世界邊遠地區的科學家，如能到大研究中心工作一段時間或短期訪問各研究中心機構，是大有裨益的。

同樣，科學會議的主要價值也在於提供了機會，使科學家能非正式地會面，並討論共同關心的問題。遇到與自己有共同愛好的人，會產生很大的動力。看到別人對這個問題如何感興趣，問題會變得益發有趣。我們之中實在很少有人能有堅強的意志、獨立的頭腦，熱中於一個別人毫不關心的課題。

然而，確實有少數難能可貴的人，他們有足夠的內在精力和熱情，獨處時不失去活力，甚至可能由於不得不獨立思考，不得不因此與世隔絕，而竟然從中獲益。大多數偉大的先驅者都必須獨立構思自己的想法，有一些是在科學上與世隔絕的情況下工作的，如孟德爾在寺院，達爾文在『小獵犬號』航行途中。還有一個現今的例子，就是貝內茨。他在澳大利亞西部，是幾乎與世隔絕的情況下工作的。他發現了羊身上腸血中毒病症的原因，牛羊因缺銅而致病，此外，對人類的知識還作了其他重要的開創性貢獻。

人在一生中那個時期最有創造性？關於這個問題萊曼 (H.C. Leberman) 搜集了一些有趣的資料：他在《醫學史入門叢書》、《醫學史導引》之類著作中查閱資料，發現：一七五〇到一八五〇年出生的人，獲得成果最多的年齡是在三十到三十九歲這十年中間。把這一段的成果當作 100%，則二十至二十九歲這十年間獲得成果的比例是 30~40%；四十到四十九歲期間為 75%；五十到五十九歲期間為 20%。人們的發明能力和獨創精神也許在早年，甚至早在二十多歲就開始衰退，但是，經驗、知識和智慧的增長彌補了這一缺陷。

坎農說：朗 (Long) 和莫頓 (Morton) 兩人都是在二十七歲的時候開始用乙醚作麻醉劑的；班廷 (F.G. Banting) 是在三十一歲時發現胰島素的；塞麥爾維斯二十九歲發現產褥熱的傳染性；貝爾納三十歲時開始研究肝臟的產糖功能；范格拉夫 (van Grafe) 二十九歲時設計了修補顎裂的手術，奠定了現在整形外科的基礎。賀姆霍茲在年僅二十二歲，還是一個醫科大學在校學生時，就發表了一篇重要論文，提出醱酵和腐爛都是生命現象，從而為巴斯德開闢了道路。魯賓遜 (Robinson) 認為二十八歲是一個關鍵的年齡，因為許多大科學家都是在這個年齡發表他們最重要的著作的。另一方面，有些人在七十歲以後仍繼續作出第一流的研究成果。巴伏洛夫、霍普金斯爵士和巴克羅夫特爵士都是很好的例子。

一個人在四十歲以前未作出重大貢獻，並不一定意味著他一輩子也作不出，這樣的先例是有的，只是不多。隨著年齡的增長，大多數人對別人提出的新想法以及自己工作或思想中出現的新觀念的接受能力逐漸減弱。哈維說，當他第一次提出血液循環理論時，沒有一個四十歲以上的人接受它。許多人之所以在中年前後喪失創造力，就是由於擔任了行政職務而沒有時間從事研究。有時是由於中年以後生活安逸而造成倦怠，從而喪失了進取心。和年輕人接觸有助於保持觀點的敏銳新鮮。不管人過中年創造力衰退的原因是什麼，這種現象說明了知識和經驗的積累並不是獲致研究成果的主要因素。

奧斯瓦爾德認為，隨著年齡增長而經常出現的創造力衰退的現象，是由於對同一問題長期接觸所造成的。知識的積聚妨礙著獨創精神，這一點在本節第一章裏已經

討論過了。對於中年以後喪失獨創性的科學家，奧斯瓦爾德主張他們的工作領域來個大變換。他自己在五十歲以後用這樣的方法保持頭腦的敏銳，顯然是非常成功的。

研究人員是幸運的人，因為他能從自己的工作中找到生活的意義並感到滿足。對於把個人的存在埋入事物中從而尋求心境安寧的人，科學具有一種特殊的吸引力；那些更重視實際的人卻因想到自己研究成果的不朽而感到心滿意足。很少有什麼職業可以比科學研究對人類幸福有更大的影響了，特別是在醫學和生物科學方面。羅伯遜說：『研究工作者是新文明的開路人和先驅者。』人類存在和積累知識只有近一百萬年，而文明社會約一萬年前才剛剛開始，有什麼理由說人類不能在世界上再居住幾萬萬年？當我們想到未來將取得的成就時，不禁頭暈目眩、驚愕萬分。我們才剛剛開始駕馭自然力。

但是，比起尋求怎樣控制世界氣候，怎樣利用地殼下面蘊藏的熱量，比起穿過宇宙飛往其它的星球，比這些更為急迫的是，必須使人類的社會發展趕上自然科學方面的成就。當人類運用集體的意志和勇氣承擔巨大的責任，且有意識地引導人類物種的進一步進化時，當科學研究最偉大的工具（人的頭腦）本身成了科學發展的對象時，誰又能想像那個時候事物會發生什麼樣的變化呢？

## 提要 *Summary*

對科學的好奇和熱愛是進行研究工作最重要的思想條件。也許最大的鼓勵是希望贏得同事們的尊重，而最大的報酬是獲得新發現時所感到的激動，人們普遍認為這是人生最大的樂趣之一。

根據科學家的思想方法，大致可把他們分為兩類。一種是推測型的研究人員：他們的方法是運用想像和直覺來得到解決方法，然後憑借實驗和觀察對自己的假設加以檢驗。另一種是條理型的研究者，他們一步步謹慎地推理，進展緩慢，收集了大部分的資料後才得出解決方法。

研究工作的進展一般是突進式的。在『高潮』時期，科學家幾乎必須把全部精力和時間用於研究。不斷受挫可能引起一種輕度的神經病。防患的辦法是同時研究幾個問題或從事某項業餘工作。換換腦筋往往會產生巨大的精神動力，有時變換課題也有同樣的效果。

從事科學研究確實能使人心滿意足，因為科學的理想賦予生命意義。

## 附錄 機遇在新發現中發揮作用的實例

- (1) 伽伐尼發現電流
- (2) 奧斯特發現電磁原理
- (3) 倫琴發現 X 射線
- (4) 柏琴抽提奎寧
- (5) 貝爾納發現肝糖合成機制
- (6) 梅杜克發現波爾多混合劑
- (7) 拉蒙發現福馬林
- (8) 弗萊明發現青黴素
- (9) 昂加爾發現 PABA 抗斑疹傷寒藥效
- (10) 馬血清中的生長因子
- (11) 雪貂也會感染流行感冒
- (12) 丙烯乙二醇的滅菌功能
- (13) 硼酸可增進蔬果生長
- (14) 選擇性除草劑的發現
- (15) 低濃度二氧化碳保鮮肉品
- (16) 禁食的副療效
- (17) 埃利希的結核桿菌染色法
- (18) 甘油細胞保存法
- (19) 實驗的環境會影響結果

### (1) 伽伐尼發現電流

電流的發現者不是物理學家，而是一位生理學家伽伐尼。他解剖了一隻青蛙，放在靜電機旁的桌上，在伽伐尼外出片刻的時候，有人用解剖刀觸及蛙腿神經，並注意到蛙腿神經因此而收縮。另一人發現神經收縮時，靜電機發出火花。當伽伐尼注意到這個奇怪的現象時，他興奮地作了研究，深入研究後發現了電流。

### (2) 奧斯特發現電磁原理

一八二二年，丹麥物理學家奧斯特 (Oersted) 在一次報告會快結束時；把當時正巧帶著的一根導線的兩端與一個伏特電池連接，放在磁針的上方，與磁針平行。起初，他故意使導線與磁針垂直，但沒有什麼情況發生。然而，當他偶然將導線平放並與磁針平行時，他驚奇地發現磁針改變了位置。出於敏銳的洞察力，他反轉了電流且發現磁針向相反的方向偏轉。這樣，完全憑借機遇，奧斯特發現了電和磁之間的關係，並為法拉第發明電磁發電機開闢了道路。正是在講述這段故事時，巴斯德說了他著名的話：『在觀察的領域裏，機遇只偏愛那種有備而來的頭腦。』電磁原理的發現，比任何其他發現對現代文明的貢獻也許都更大。

### (3) 倫琴發現 X 射線

倫琴發現 X 射線時，正在做高真空放電實驗，他當時使用氰亞鉑酸鋇來檢測不可見的射線。但是沒有想到這種射線會透過不透明的材料。完全是由於機遇，他注意到桌上

真空管旁的氡亞鉑酸鋇，雖用黑紙與真空管隔開，卻發出了螢光。他後來說：『我是偶然發現射線穿過黑紙的。』

#### (4) 柏琴抽提奎寧

柏琴 (W.H. Perkin) 年僅十八歲時，試圖用重鉻酸鉀氧化烯丙基-*o*-甲苯胺的方法來提取奎寧。他失敗了，但他很想知道如同樣的氧化物與一較簡單的鹼相作用會出現什麼情況。他選用了硫酸苯胺，這樣，第一次提取出苯胺染色劑。然而機遇發生的作用還不僅於上述的事實；如果不是由於他的苯胺中包含了 *p*-甲苯胺雜質，這種反應也就不會出現了。

#### (5) 貝爾納發現肝糖合成機制

十九世紀上半葉，人們堅信動物是不能製造碳水化合物、脂肪或蛋白質的，這些都需從植物加工而成的食物中獲取。當時人們認為一切有機化合物都是在植物中合成，而動物只能起分解作用。貝爾納著手研究糖的代謝作用，特別要找出糖在那一部位分解。他用含糖高的食物餵養實驗狗，然後檢查肝臟流出的血液，看看糖的分解是否在肝臟中進行。他發現血液中糖分很高。然後他明智地用無糖食物餵養另一只狗，來做一個近似的實驗。使他驚奇的是：他發現對照狗肝臟的血液也有很高的糖分。他意識到，與當時的觀點相反，肝臟也許確實從非糖物質中製造出了糖分。由此他做了一系列徹底的實驗，充分證明了肝臟的肝糖生合成作用。這個發現之所以做出，首先歸功於貝爾納掌握實驗的每一步驟時都是按部就班，一絲不苟的；其次，由於他能夠意識到與該問題盛行的觀念不符的結果是重要的，並因此深入追這一線索。

#### (6) 梅杜克發現波爾多混合劑

在梅杜克 (Medoc) 為了嚇唬小偷，葡萄藤架上噴灑石灰和硫酸銅的混合液。後來，米勒德特 (Millardet) 注意到偶然灑上混合劑的葡萄藤葉不長霉。根據這一線索，發現了波爾多 (Bordeaux) 混合劑，可用於保護果樹和葡萄藤免受霉菌引起的疾病的侵襲。[譯註：波爾多為法國西南部商港。波爾多混合劑即是將硫酸銅加入石灰乳中形成的殺菌劑。]

#### (7) 拉蒙發現福馬林

福馬林 (甲醛水溶液) 具有破壞毒質中的毒性而不影響其抗原性的特性。這是拉蒙 (Ramon) 在將防腐劑加入濾液之中以便保存濾液時偶然發現的。

#### (8) 弗萊明發現青黴素

大家都知道青黴素是怎樣發現的。當時弗萊明正在進行葡萄球菌平皿培養，實驗過程中需要多次啟開，從而培養物受到了污染，這種情況是常見的。弗萊明注意到，某個菌落周圍的葡萄球菌菌落都死了。許多細菌學家不會覺得這有什麼特別了不起，因為當時早就知道有些細菌會阻得其他細菌的生長。然而弗萊明看到了這種現象可能具有

的重大意義，予以深入研究，發現了青黴素。雖然將其發展成為一種藥物是以後弗洛里進一步研究的結果。當時出現的那種黴菌並不是常見的黴菌；還有，此後為了找出其他抗生素，在全世界範圍內進行了非常廣泛的研究，但時至今日仍未發現任何與青黴素有同樣價值的東西。當我們領悟到這些，更可看出機遇的因素在這一發現中所起的突出作用了。還有一點值得一提，當時弗萊明如果不是在一座擁有大量灰塵，從而容易發生污染的舊房子裏這種『不利』條件下工作，那麼這個發現可能也就做不出來了。

### (9) 昂加爾發現 PABA 抗斑疹傷寒藥效

昂加爾 (J. Ungar) 發現，如在青黴素中加入對氨基苯甲酸 (PABA) 溶液，則青黴素對某些細菌的療效會稍微提高。他對當時為什麼做這樣的試驗未加解釋，但可能因為已經知道是細菌生長的一種基本要素的緣故。後來，格雷夫 (Greiff)、平克頓 (Pinkerton)、和莫拉格斯 (Moragues) 又對 PABA 作了試驗，看它能否提高青黴素對斑疹傷寒立克次體的抑制效能。他們發現 PABA 本身就對斑疹傷寒微生物有顯著的療效。他們說：『這一結果是完全出乎意料的。』這一研究的結果確立了 PABA 可用作治療斑疹傷寒的珍貴藥物，而在這以前對這種疾病是沒有有效藥物的。

在假設一章中，我已經敘述了如何根據一個不正確的假設發現六〇六和磺胺藥的。還有兩種同樣著名的藥物，也完全由於它們正好是被試驗物質中的雜質而被發現。密切參與這項工作的科學家告訴我這兩項發現的經過，但請我不要發表，因為小組裏其他成員可能不願意透露他們發現這兩種藥物的情況。惠特比 (Lionel Whitby) 爵士給我說了一個性質略微不同的故事。一次，他正在試驗當時的新藥磺胺比啶，接種了肺炎雙球菌的實驗鼠白天服藥有療效，但夜間沒有療效。一天晚上，有人請惠特比吃飯，歸途中他先去實驗室看看實驗鼠的情況，在那裏他漫不經心地又給實驗鼠服了一次藥。服藥的實驗鼠抗肺炎菌的情況比以往任何實驗鼠都好。十周以後，惠特比才意識到就是半夜多服的那一次藥造成了這樣好的效果。從此，不論是實驗鼠還是人，在用磺胺治療時，都必須日夜服藥，效果比過去的方法好得多。

### (10) 馬血清中的生長因子

我在研究羊腐蹄病時，曾幾次試圖製成一種使傳染因子能夠在其中生長的培養基。根據推理，我在培養基中使用了羊血清，但每次結果都呈陰性。最後我得到了一次陽性反應，在檢查筆記時發現，由於羊血清已經用完，在那組培養基中我用了馬血清代替。根據這一線索，我很容易就分離出並證實了致病物質：一種只在馬血清而不在羊血清中生長的有機體，憑機遇作出了與推理不符的新發現。

### (11) 雪貂也會感染流行感冒

人體流行性感冒病毒能夠感染雪貂，這一發現是人體呼吸道疾病研究的里程碑。在安排對流行性感冒的研究時，準備試驗病毒感染的動物中也包括雪貂。但是，尚未到對雪貂進行試驗的預定時間，就有人報告說：有一群雪貂患了病，病狀很像雪貂管理人員所得的流行性感冒。根據這一間接證據，就立即對雪貂進行了試驗，發現雪貂也能

感染流行性感冒。後來，人們發現當時促使對雪貂進行試驗的想法是完全搞錯了，因為那群雪貂患的不是流行性感冒，而是犬瘟熱！

### (12) 丙烯乙二醇的滅菌功能

英國細菌學家發現了一種用己基間苯二酚溶於丙烯乙二醇溶液噴霧消毒空氣的有效方法。當時他們作了廣泛的研究，試驗了多種混合物，證明了這一種效果最好。選用乙二醇只是為了用它作為殺菌劑己基間苯二酚的溶劑。由於這次研究提出了運用這種方法防止空氣傳播疾病的可能，引起了人們很大的興趣。當其他人繼續這項研究時，發現混合物之所以有效，是由於乙二醇而不是由於己基間苯二酚。後來證明，乙二醇是最好的空氣滅菌劑，當初採用乙二醇只是把它當作其他被認為是更有效殺菌劑的溶劑而已，當時並未認識到乙二醇本身具有任何有價值的殺菌作用。

### (13) 硼酸可增進蔬果生長

羅桑斯特 (Rothamsted) 實驗站於試驗使用各種化合物保護植物不受蟲害時，有人注意到用硼酸處理過的植物，其生長情況大大優於其他植物。戴維森 (Davidson) 和沃林頓 (Warrington) 證明，植物生長良好是由於需要硼。人們原來並不知道硼對植物營養之重要意義，印使在獲得了這個發現以後，在一段時間內仍然認為缺硼現象只是在學術上有價值。但是到後來，發現好幾種有經濟價值的植物病，如甜菜的『爛心』都是缺硼的表現。

### (14) 選擇性除草劑的發現

選擇性除草劑是在研究苜蓿的根瘤菌和植物生長刺激劑時偶然發現的。人們發現，這些有益的根瘤菌通過分泌一種物質能使根毛變形。但是，當納特曼 (Nutman)、桑頓 (Thornton) 和夸斯特爾 (Quastel) 試驗這種物質對各種植物的作用時，他們驚奇地發現該物質對發芽和生長起阻礙作用。此外，他們又發現，這種毒性是有選擇性的，對雙子葉植物其中包括大多數的雜草毒性特大，而對單子葉植物，其中包括穀物和草則毒性較小，於是他們又試驗了有關的化合物：發現了一些作為選擇性的除草劑，今天在農業上有很大的價值。

### (15) 低濃度二氧化碳保鮮肉品

研究食物保存技術的科學家試圖用二氧化碳代替空氣，來延長凍肉的『壽命』。據研究，二氧化碳對引起食物腐敗的微生物具有抑制生長的作用。當時發現，使用高濃度的二氧化碳會引起凍肉變色，十分難看，整個想法因此被放棄。一段時間後，同一實驗室的研究人員試驗一種冷凍法，需將二氧化碳釋放到貯存食物的房間裏，同時進行觀察，看氣體有無不利影響。使他們驚奇的是，凍肉不僅沒有變色，在低濃度的二氧化碳中，凍肉保持新鮮的時間甚至比在高濃度的二氧化碳還要長。從觀察到的這一現象發展出了現代重要的肉類『氣存』法，即使用 10~12% 的二氧化碳。在這樣的濃度下，氣體有效地延長了凍肉的『壽命』而不造成變色。

### (16) 禁食的副療效

我當時正在研究羊的一種生殖器官疾病，稱為龜頭-包皮病。這是一種發病時間很長的疾病，人們認為除用外科手術根治外是無法治愈的。患羊從鄉間送到實驗室來供研究用，但使我驚奇的是，羊隻在抵達後的幾天內全部痊癒。最初我們認為送來的不是典型的患羊，但是進一步研究後發現：羊隻痊癒是由於變換環境而拒絕進食的緣故。這樣就發現了，這種用別的方法難以治療的疾病，在大部分情況下用簡單的禁食數天的方法就能治癒。

### (17) 埃利希的結核桿菌染色法

埃利希用抗酸法染色結核桿菌的發現是這樣做出的：他把一些配製劑放在爐上就出去了。過了一會兒別人不在意地點燃爐子，爐子的溫度正好能夠使蠟衣的細菌著色，柯赫說：『完全是靠了這樣的偶然機會，現在從唾液中尋找桿菌已成一種普遍的做法了。』

### (18) 甘油細胞保存法

帕克斯 (A.S. Parkes) 博士及其同事發現，甘油能使活細胞在非常低的溫度下長時間保存。他講了下述故事說明他們是怎樣作出這一重要發現的：『一九四八年秋季，我的同事史密斯 (Audrey Smith) 博士和波爾格 (C. Polge) 先生想要重覆謝夫納 (Shaffner)、韓德森 (Henderson) 和卡德 (Card) 在一九四一年所得的結果，他們三人用果糖溶液來保護家禽的精子使其不受冷凍和融化的影響。試驗成就不大，正在等待進一步的靈感時，他們把一部分溶液放入了冷藏庫中。幾個月後重新用同樣材料繼續研究時，所有的溶液仍然呈陰性反應，只有一瓶中的家禽精子在攝氏零下 97 度的冷藏狀態中，幾乎完全保存了活性。這一奇怪的結果給人以啟示：果糖中的化學變化產生了一種物質，具有保護活細胞不受冷凍和融化影響的驚人特性。而果糖中的化學變化可能是由貯存時產生大量的黴菌所引起或促成的。然而，試驗證明：這種神秘的溶液不僅沒有包含不同於一般的糖，而且實際上根本不含糖。與此同時，進一步的生物試驗證明，在冷凍和融化以後，保存的不僅是活性，而且還有使卵子受精的能力。這時，大家有點驚慌地把剩下的少量 (10~15 mL) 奇怪溶液，送到我們的同事埃利奧特 (D. Elliott) 博士那裏去做化學分析。他的報告是：溶液包含了甘油、水和相當數量的蛋白質！這時大家才意識到：在試驗果糖溶液的同時，在對精子進行形態研究的過程裡中，使用了邁耶 (Mayer) 的蛋白，就是這位組織學家的甘油和蛋白，並把它隨同果糖溶液一起送入冷藏。顯然有幾個瓶子被搞混了，但究竟是怎麼回事我們後來也沒弄清楚。我們很快用這種新材料做了試驗，證明：蛋白不起保護作用。於是我們的低溫研究，就集中到甘油對保護活細胞不受低溫影響的作用上了。』

### (19) 實驗的環境會影響結果

納爾班多夫 (A.V. Nalbandov) 博士親自寫信給我講了下述引人入勝的故事，說他自己怎樣發現了使實驗雞在切除腦垂體後繼續生存的簡單方法。『一九四〇年我開始對腦垂體切除術對雞的影響感興趣。我掌握了這種手術的技巧後，雞隻仍然死去，手術後幾

個星期內，無一倖存。移植治療和其他措施都無效，我正準備同意帕克斯和希爾 (R.T. Hill) 的意見，他們在英國也做過類似的實驗，結論是：切除腦垂體的雞無法生存。這時我不得已只好做了幾個短期的實驗，放棄了上述計劃。正在這時，有一組切除腦垂體的雞 98% 存活了三週，其中還有許多隻活的時間長達六個月。我所能想出的唯一解釋是：我的手術技巧隨着實驗的次數而提高了。大約這時，就在我準備進行長期實驗時，雞隻又開始死亡。在一星期內，新近切除垂體的雞隻和已經存活數月的雞隻統統死去了。這當然不是手術技巧的問題。我繼續實驗，因為這時我已知道在一定的情況下雞隻是可以存活的，但這個條件是什麼則完全不清楚。大約就在這個時候我又有一段成功的實驗，雞隻死亡率很低。但是，儘管對記錄作了詳細的分析（考慮並排除了疾病及許多其它因素的可能），我仍然找不出答案。你們可以想像，對於動物承受手術的能力有顯著深刻影響的東西竟然無法利用，這是多麼令人沮喪。一天深夜，我從一個晚會駕車回家途經實驗室。雖然當時是凌晨兩點，動物室裏燈還開著。我以為是那個粗心的學生忘了關，就停下車去關燈。幾天以後的一個晚上，我又注意到這些燈通宵開著。詢問以後才知道，是一位看門人在晚上櫥窗鎖門以後故意開看動物室的燈，以便找到出去的門（燈的開關不在靠近門處）。進一步查詢以後證明：兩段存活率較高的實驗正是發生在這位看門人值班的時候。我很快就用對照實驗證明，切除垂體的雞隻凡養在黑暗中的都死了，但若每夜開燈兩次，每次一小時，則雞隻可一直活下去。原因是：養在黑暗中的雞隻不吃食，從而得了不治的低血糖病，而開燈屋中的雞隻吃食足夠，可以防止低血糖病。從那時起，我們要那些切除垂體的雞活多久它們就能活多久，再沒有任何困難了。