

美國中小學

科學教育現況探討

黃湘武

由於美國教育系統不是中央集權制，故各地教育實施可因地區、城市或鄉鎮、經濟條件、種族的分佈、或信仰等而有很大不同。外人考察美國教育常有迷失之感，且亦易因訪問重點不同，而有以偏概全之可能。

儘管有人批評美國教育現象之分歧與雜亂，然而美國教育却自有其獨特之活潑性與生命力，因此每年皆吸引世界各地教育學者專家前來訪問考察與研究。

美國科學教育發展情形當然也是五花八門，任何人欲在此中整理出一公認之結論殊不可能。本文報告係根據個人實地訪問心得與參考有關文獻整理寫出，主觀的偏見在所難免，謹祇祈望能提供國內有心人士參考之用。

重要特點

一、高度的研究發展工作

科學教育之基本研究與發展當然與美國整體之學術環境有關，因此新的觀念、新的教學成品不斷的出現於學術雜誌及市場。因此一位有心的教育工作者永不必擔心教學資源的缺乏，且可不斷創新他的教學方法與內容。

支持研究的單位有上自聯邦政府、大學研究所，下至各地方教育機關、科學館、博物館、私人及商業團體。

以美國國科會（NSF）為例，在 1978 年 12 月統計⁽¹⁾，知其對科學教育研究正在支持之計劃為 177 項，總金額 30550094 美元，平均每一項計劃補助為 172599 美元，期限平均為 28.7 個月。按照研究內容之不同，NSF 將其所補助

之研究計劃區分為五大類：

(A) Development in Science Education.

(B) Continuing Education for Scientists and Engineers.

(C) Assessment of Science Education in the Two-year College.

(D) Research in Science Education.

(E) Research on Cognitive Process and the Structure of Knowledge in Science and Mathematics.

值得吾人注意的是(E)類中的認知發展研究與科學知識結構研究，雖然此部份經費僅佔總經費約 3%，但是其重要性却是不能忽視的。這是科學教育的最基礎研究，祇有在我們對人類學習的過程及對知識的本質有所了解，教育的實施才能有所根據，教學的行為才能脫離純粹以經驗為依據之主觀行為，而轉變為一種有理論基礎之教育科學。

二、便利的教師在職進修制度

教師的素質是決定教育成敗的關鍵，而在職進修是提高教師素質的重要步驟。美國在職教師進修的成效可以由其教育學會（NEA）所發表的一些統計數字證實之⁽²⁾：

1 1976 年有63%之公立中小學教師曾在大學或學院註冊進修，而平均進修所得學分是10學分。

2 自 1976 年前三年中，有68%之公立中小學教師曾經參加過學區舉辦之研習會。

3 1976 年統計參加學術團體為會員之中小學教師人數為全國教育學會（NEA）77.1%、州教育學會（State Education Association）

79.7 %、地方教育學會（Local Education Association）80.4 %、各專門科目團體（Subject-Matter or Professional Interest）為 35.7 %。這些學術團體經常舉辦之大會或研習會是教師們吸收新知交換意見的好場所。

三、教材的多元化

美國無統一教材，政府大力介入教材之發展始於 1956 年之 Physical Science Study Committee（PSSC），在教學上教師有權決定教科書，或至少具有否定使用某種教科書之權力。一般來說政府支持發展之教材頗受教師歡迎，可由下面調查看出⁽³⁾：

政 府 發 展 教 材	學校採用 百 分 比
K - 6 Science	
1 Elementary Science Study (ESS)	15
2 Science--A Process Approach (SAPA)	9
3 Science Curriculum Improvement Study (SCIS)	8
7 - 12 Science	
1 Introductory Physical Science (IPS)	25
2 Biological Science: An Ecological Approach (BSCB Green)	19
3 Biological Science: An Inquiry Into Life (BSCS Yellow)	16
4 Chemical Education Materials Study (CHEM Study)	15
5. Probing the Natural World--Intermediate Science Curriculum Study (ISCS)	12
6. Project Physics Course (Harvard)	12
7. Physical Science Study Committee Physics (PSSC)	11
8. Investigating the Earth--Earth Science Curriculum Project (ESCP)	10
9. Biological Science: Molecules to Man (BSCS Blue)	8
10. Individualized Science Instructional System (ISIS)	7
11. Biological Science: Patterns and Processes	6

表一 採用超過 5 % 之政府教材 78

若以學生各年級統計之，則有如下之結果：

K - 3	4 - 6	7 - 9	10 - 12
21 %	27 %	34 %	52 %

表二：教師在各年級使用政府科學教材百分比

由上面統計資料可以確定政府發展的多類科學教育教材是被廣泛採用的，小學教材以 E S S 最受歡迎，而中學教材以 I P S 為最成功。各年級使用政府科學教育教材情形隨年級增高而增加，在 10 ~ 12 年級時，超過半數之教師採用政府教材。

關於聯邦政府支持發展教材，部份人士頗不以爲然，因恐會造成全國統一教材之現象。然而據問卷有 58% 的全國督學（Superintendent）同意由於政府支持發展教育對學校使用教材之品質有改進效用，但是祇有 27% 認爲對教室授課方式有改進，同時 66% 督學認爲在未來十年中政府應繼續支持教材之發展。

四、廣大的後勤支援

美國各地林立的圖書館、博物館、科學館等不僅僅是注重一般的社會教育功用，對各級學校的教育也是很大的方便。

圖書館可以迅速提供教學與學習的資料，博物館與科學館則經常是教師與學生的另一教學教室。這些單位更能經常爲教師舉辦研習會提供進修機會，也常常可以配合學校之要求爲學生開授某一教學單元。

對教師的幫助更可以來自當地設立的教師中心，或是教育行政機構。這些單位通常設有各科專任課程專家，及提供借用實驗器材或視聽器材等。

各大學及研究機構當然也是教師的支援單位，舉辦研習會介紹新觀念，也可以爲特別學生安排特別的課程，更可以是教師追求高學位的場所。

也許我們去參觀一所美國學校，常發現它的規模並不大，設備亦不驚人，教師的學識也是平平，但是在它背後看不見的支援却是我們國內所不能比擬的。

茲以 Lawrence Hall of Science（加州大學）爲例，1978 年 10 月至 12 月份間舉辦之各類年級（由五歲起至成人）之科學教育包括⁽⁴⁾：

- 1 電腦課程共三十四班次。
- 2 數學課程共十班次。
- 3 物理科學課程共十六班次。
- 4 生物課程共十六班次。
- 5 成人課程共二十三班次。

由此可以想見美國一般科學館在推進與協助科學教育上的重要功能。

五、專用的科學教室

專用教室是美國學校中的特色，在科學教育上更有其特別需要。美國學校中甚少獨立與龐大之儀器儲存室而造成器材存而不用之現象。專用物理教室、化學教室、或是生物教室就是將儀器儲存室、實驗室、專門書籍參考室，及教室五者合而爲一。擔任該課程教師即以此處爲家，隨時隨地安排與佈置教學上的需要，每一科學教室儼然就是一小型科學館與圖書室。學生置身其中顯然可以激發其學習之動機，在教學上亦可以提高教師使用器材與增加實驗活動之機會，同時更可方便講解與實驗或示範表演之交互進行。

六、無激烈之升學競爭考試

美國就業機會較多，社會工作觀念開放，各級各類之學校設立也衆多，並能發揮其應有之功能，故強烈之升學競爭不存在。同時入學審查也採多重標準，通常包括原校成績、教師之推荐、某類能力之檢定考試。因此之故科學教育多能依照正常之需要實施。

無現實之升學壓力，則教師敢於嘗試新的教學法與教材，而學生可以從容與樂意於從事各項有意義的科學活動與實驗，因而可以從實際中體驗與欣賞到科學的精神與方法。此與我國內學生對著國訂標準課本或升學指導而埋首苦讀之情形大不相同。

重要發展

一、科學教育的目標將是科學的知識 (knowledge)、科學的方法 (process)、與學生智性的發展 (development) 並重⁽⁵⁾。科學知識的傳授着重科學家在某一學科知道的是什麼；科學的方法則着重在學習科學家創造知識的過程、方法及探討事物所持之態度：其中包括觀察、收集資料、建立假設、開放的態度、願意承認錯誤與誠實等。智性的發展則着重於學生在什麼時候可以學什麼及能夠學什麼。

科學教育注意到學生智性發展，主要係受皮亞傑 (Piaget) 學說的影響⁽⁶⁾。皮亞傑研究與教學應用已大量出現^(7,8)。而最有名的課程設計當推 Science Curriculum Improvement Study (SCIS)⁽⁹⁾。

二、由資料顯示⁽¹⁰⁾在 1972 年時全世界各處有 98 個科學教育課程計劃是具有統整的特性，在美國佔有 57 個，到 1974 年時全世界增至⁽¹¹⁾ 170 個，而美國佔了 150 個。科學教育的統整似具有其必要性與必然性⁽¹²⁾，其主要的理由⁽¹³⁾係基於科學的整體本質、學生學習心理與教學的需要、科學知識的無限增加、科學的人性化等。因此傳統教材的學科分界線可能被打破而代之以新的組合。

統整科學之主要精神是將自然科學作一通盤的考慮而強調其共通性。如科學的共通觀念有⁽¹⁴⁾：因果關係、改變、週期、能量與質量、平衡、力、交互作用、對稱、系統等等。又如科學共用

過程 (Process) 有：分類、變因控制、下操作型定義、設計實驗、建立模式、假設、推理、分析、量度、觀察、預言等等。

統整科學也可基於某些主要標題的討論如：能源、環境、人口、糧食、氣候、地質學、太空物理等等。

因此統整科學並無一定之形式，而且在程度上也互有出入。有時甚至不易判斷其是否為統整科學。以 Probing the Natural World (ISCS) 為例：第一階段 (level I) 的內容主題是能量，過程主題是量度與下操作型定義，但教材則主要為物理；第二階段 (level II) 的內容主題是物質，過程主題是建立模式，而教材主要為化學；第三階段 (level III) 的內容及教材為若干獨立單元如遺傳、地質、環境、天文、太空物理等，而其過程則為應用前面兩階段學習到的過程方法進行實驗與觀察。

三、採用單元 (modulus) 教學是很明顯的趨勢。如在小學課程有 Science Curriculum Improvement Study (SCIS)、Science, A Process Approach (SAPA)、Elementary Science Study (ESS)；初中課程則有 Human Sciences Project of the Biological Sciences Curriculum Study、The Crustal Evolution Project of the National Association of Geology Teachers、The Energy and Environment Materials of the National Science Teachers Association；在高中階段則有 Interdisciplinary Approaches to Chemistry (IAC)、The Biomedical Interdisciplinary Curriculum Project (BICP)。

採用單元教學可以方便學生的個別化學習 (Individualized and Self-paced)，教師的取舍教學內容，學校的部份課程改進等。

四、個別化教學的需要已為教育家公認，關

於個別化教學方法與實施之研究亦大有人在⁽⁶⁾。在個別化教學之課程中教師與學生之角色與傳統的大不相同，學生對於學習負有較主動的任務，他們可能從事實驗活動、閱讀書籍或是傾聽錄音帶、或是與老師或同學研討。每個學生可以按照他自己的能力、興趣或動機去規定學習的快慢或方式，而不必與其他同學一樣。

教師的任務則在於一對一情況下啟發學生、支援學生、激勵學生。他的主要工作包括組織學生、管理教材、發現學生困難。教師站在講台上講課的現象已不存在。

在初中教材中最有名的例子當推 The Intermediate Science Curriculum Study (SCIS)，此為一三學年個別化教學單元模式統整科學過程。

五、科學教育的另一重要運動是價值教學⁽¹⁵⁾ (Relevance)。科學的知識本身是無善惡之分的，科學家創造知識，但此知識之使用正當與否却決定於廣大民衆。為求使科學知識善用於人類未來的福祉，教育廣大民衆關於科技力量的範疇是有其必要。所以如：人口、資源、污染、糧食、核能等都是許多教材討論的題目。

為此科學教育機構也開始常為社區提供服務，如加州大學的 Lawrence Hall of Science 發展的 Outdoor Biology Instructional Strategies (OBIS) 就是很成功的例子。此一教材提供簡單戶外之生物與環境學習活動，可以說任何人對兒童戶外活動有興趣的都可了解。在舉辦的研習會中參加人員包括有童子軍隊長、童子軍教師、野營指導員、自願工作的家長或學生等。

六、皮亞傑 (Piaget) 的認知發展理論是一熱門研究題材^(7,8,9)，似乎到處都可遇到科學教育家或科學家熱衷於皮亞傑測驗與分析。皮亞傑理論很顯然的將會對課程設計、教學形式、與科學教育本質有深遠的影響。事實上皮亞傑測驗

技術及理論已被認真的加入於科學教師資訓練課程中（如柏克萊加州大學）。根據皮亞傑原則編寫的科學教材也已有數種出現（如英國的 5 / 13 科學教本，及美國的 SCIS）。

一般問題

美國人民過去曾經深以其教育制度自豪，無可否認的也是其他許多國家追求的境界。但是今天的美國人民或是外國訪客則似乎已漸漸失去對美國教育措施的信心了。以時報週刊⁽¹⁶⁾ 一篇專題報導 “High School Under Fire” 為例，其中列舉出美國中等教育現存的五項困難有：

一、教育經費的不斷升高

1977 年全國教育經費是 1440 億美元，那是 1960 年代的 152 % 倍，因此美國老百姓已開始在懷疑這種龐大投資的價值了。

二、學生學習成就下降

經過多年來所號稱的教學創新如開放式教室、彈性單元教學、充份的高級教學器材使用等，但是各種資料皆顯示今日美國學生的基本能力學習成就比他們的前輩要差。以 College Entrance Examination Board 的 Scholastic Aptitude Test (SAT) 為例，自 1962 年至 1977 年止其美國學生語言能力 (verbal ability) 下降 10%，而算術能力 (math. skills) 則下降 6 %。

三、學生暴亂行為增高

1975 年之資料顯示，該年有 63000 名教師曾受學生攻擊，學生竊盜案件達 270000 次，學校財產損失達二億美元。大城市情形更嚴重，在 1977 年開學六星期內即已有 132 位教師報告受到學生攻擊。

四、教師罷課問題

雖然納稅人對教育經費的高漲已經很不滿意，但是教師却在繼續要求提高待遇，1977年間全國約有100個學區因為教師罷課而停課。

五、學生缺席率升高

根據向中學校長的意見調查，學生逃學問題的嚴重性尤甚於學生的不用功、無紀律、破壞、吸毒等。以波士頓郊區的Medford High School為例，其每天的缺席率是12%，而該校是數一數二的優良學校。

以上的報導，確是令人吃驚，但是這種情況還是因地區有很大的差別，鄉下地區還是多能保有良好的校風，但是如果實地訪問大城市（如紐約市）中學校的情形，則我們就不會懷疑時報週刊報導的真實性了。

科學教育的實施當然直接會受這些情形的影響。如現今學生與家長要求加強基本能力教育（go back to basic），但基本能力是“讀、寫、算”，並未包含科學教育。美國高中學生（10年級以後）有50%的人根本不選修任何科學課程⁽¹⁷⁾，而在選修的科學課程中大部份集中在生物課程，其次是化學，物理則人數非常的少。而學生的紀律問題，及喜歡破壞物品的行為則使得科學教學的實驗活動難以進行。

對我國科學教育發展之意見

今日台灣經建的進步，就是昨日推動教育成功的最好指標，而科學教育的貢獻無可否認的是佔據最重要的一環。然而吾人若祈望科學發展之能真正在中國開花結果，或是希望我們未來的國民皆能適應與生存於未來的高度開發科技社會中，則我們的科學教育尚有待繼續努力。對於改進國內科學教育現況各專家學者所提意見甚多，但

歸納言之，我個人以為下列三項為最迫切：

一、解決惡性升學競爭

升學競爭原是件好事，因為由此可以激勵學生努力用功，可以適當選取人才接受高深教育。但是今天國內升學競爭情況已演變成有如商場上的惡性競銷，嚴重地破壞了教育的品質，這是教育學界已公認的事實。

從科學教育的觀點來看，現行升學競爭對學校教學最重要的影響是：其一為着重課本的記憶；其二是強調重複不斷的操練。這種情形可從學校中頻繁的考試測驗次數與內容輕易的得到證實。存在的原因也極為簡單，因為這二者是應付升學考試的最有效法寶。

但是科學教育的最重要內涵是在於教育學生如何以實證的方法創造知識之過程。以上教學情形是對科學教育的目的本末倒置，或是造成衆多的學生對知識的內容知而不懂，而無止境的重複操練更是對學生創造力的最大摧殘。

今日惡性升學競爭情形若不加以改善，則學校教學情形不可能有重大突破。因為任何新的教學理論與方法，或是新的課程改革，若是違背學生升學考試的現實需要，則必將會被現實的洪流所湮沒，因此改進現存升學競爭情況，是我國科學教育繼續發展的先決與必要條件。

二、加強基礎科學教育之研究

政府推動科學教育研究風氣已行有多年，每年皆列有專款由教育部分配支持各機關學校之研究計劃，這些投資無疑的將會有深遠與良好的影響。但嚴格言之，以往的研究工作多着重於科學教育之上層部份，如課程研究與教材教法等，而對於基礎之科學教育理論則甚少涉及。

基礎科學教育研究至少應包括兩部份：(1)科學的本質與科學知識的結構，(2)人類認知的過程

與方法。前者的了解可以告訴我們科學教育應有的內涵，而後者則是我們教學方法與措施的依據。因此唯有在這兩方面建立起足夠的認識，我們科學教育的投資與政策的推行才不致迷失方向而事倍功半。

我國若干年來中學教材之編訂，皆以盲目抄襲外國課本為手段，其主要原因也許就在於此。

三、減少班級人數

班級人數多寡與教學效果有密切之關係，這是衆人皆知之事實，班級人數過多將使作業批改、個別化指導、實驗活動、班級討論等困難重重。

我國目前中、小學班級人數大都在五十人以上，與美國情況每班25人⁽²⁾相比約是兩倍有餘。若以國中教師每週授課18小時，與每班每週物理課2小時計算，則每位教師須負責9個班級共450個不同學生之學習活動，因此無論是教師之總工作負擔或是以每班適當上課人數來看皆顯然不合道理。所以現行國中、小學科學科目上課仍然盛行的是聽講式教學，實驗活動流於形式（七、八人一組）等皆有其不得已之原因也。

由於政府財力有限，全面縮減班級人數殊不可能，但基於科學教育教學上之特殊情況及國家正在致力推行科學教育之政策，似乎應在科學教育課程部份考慮作一額外之調整。此可經由協同教學（Team Teaching）將一班學生分割為二班，或是將二班學生分割為三班，而增派教師共同擔任之，如此則科學教育之品質相信將可明顯改進之。

參考資料

(1) "Science Education, Development and Research", National Science Foundation, SE 79-80, February 1979.

(2) "Status of the American Public School Teacher 1975-76", National Education Association Research.

(3) Weiss, I. R. "1977 National Survey of Science, Mathematics, and Social Studies Education, Highlights Report.", Center for Educational Research and Evaluation, Research Triangle Park, North Carolina 27709.

(4) "Lawrence Hall of Science, Fall Classes '78", Lawrence Hall of Science, University of California, Berkeley, CA. 94720.

(5) Bybee, R. W., "The New Transformation of Science Education." Science Education 61(1): 85-97 (1977).

(6) Mallinson, G. G., "A Summary of Research in Science Education 1975." Science Education, John Wiley and Sons.

(7) Renner, Stafford, Lawson, Mckinnon, Friot, Kellog, "Research, Teaching, and Learning with the Piaget Model." University of Oklahoma Press: Norman.

(8) Karplus, R., "Science Teaching and the Development of Reasoning.", Journal of Research in Science Teaching, V. 14, No. 2, 169-175 (1977).

(9) "SCIS OMNIBUS", Lawrence Hall of Science, University of California, Berkeley, 1973.

(10) "Eighth Report of the International Clearinghouse on Science and Mathematics Curricular Development, 1972.", Science Teaching Center, University of Maryland, College Park, Maryland, 20742, U. S. A.

（下接76頁）

	I	R	R ²	R ³	H	V	D	D'
I	I	R	R ²	R ³	H	V	D	D'
R	R				D'			
R ²	R ²							
R ³	R ³							
H	H	D						
V	V							
D	D							
D'	D'							

從任何一個排法開始都可以，為便利計可從已列出的排法A計算。表的算法是左邊先做再做上面的，例如R與H交會處，表示先做R再做H，可得D'；H與R交會處，表示先做H再做R可得D。讀者試把本表填寫完畢就可發現：三階魔方陣只有這八個排法。

(二)再看下面的四階魔方陣：

1	8	13	12
15	10	3	6
4	5	16	9
14	11	2	7

每行或每列四數之和都是34，兩對角線上四數之和也是34

在這裏也可作類似在三階魔方陣中所做的變換（轉動，列與列交換，行與行交換等）。例如：第一、三兩列交換且第二、四兩列交換，仍符合四階魔方陣的要求：

4	5	16	9
14	11	2	7
1	8	13	12
15	10	3	6

又如，第二、三、四各行，每行向左移一行而把第一行移到第四行，也符合要求。

問題1：讀者試把所有的這些變換都找出來，並對每一個變換指定一個英文字母代表它，如同上面在三階魔方陣中所做的，I代表不動，再

看這些字母是否也可以照三階的方式列一個計算表？

再看最初列出的四階魔方陣中：

(1)把十六個數分成上下左右四塊，每塊裏四個數之和也是34。

(2)四角上的四個數，其和也是34。

(3)中央的四個數，其和也是34。

問題2：你能再看出一些其他的性質嗎？

(上接83頁)

(11) Showalter, V., Cox, D., Holobinko, P., Tlomsom, B., "Unified Science Premises and Prospects.", The Federation for Unified Science Education, Columbus, Ohio, 1975.

(12) Neuraih, O., Bohr, N., Dewey, J., Russell, B., Carnap, R., Morris, C., "Encyclopedia and Unified Science.", The University of Chicago Press, Seventh Impression 1970.

(13) "New Trends in Integrated Science Teaching, Volume II.", The Unesco Press, 1973.

(14) "What is Unified Science Education?", FUSE, Box 3138, University Station, Columbus, Ohio 43210.

(15) Sabar, N., "Science, Curriculum, and Society: Trends in Science Curriculum.", Science Education, vol. 63, No. 2, April 1979.

(16) Time, November 14, 1977.

(17) Helgeson, S. L., Projector, "The Status of Precollege Science, Mathematic And Social Science Education: 1955-1975, General Executive Summary." Center for Science and Mathematics Education, The Ohio State University, 1977.