

師苑教育叢書36

科學教育研究

鍾聖校 著



師大書苑發行

科學教育研究

結構性科學探討的
教學理論及應用

鍾 聖 校 著

師大書苑有限公司印行

科學教育研究

◀版權所有・翻印必究▶

著者：鍾 聖 校
發行人：陳 淑 娟
負責人：白 文 正
出版・發行：師大書苑有限公司

台北市師大路43號地下樓
電話：(02) 3627111・3633405
郵撥：0138616-8

經銷：師苑(圖書出版部)
台北市和平東路1段129-1號
(師大綜合大樓壹樓)
電話：(02) 3927111・3941756
傳真：(02) 3913552

印刷：淵明印刷有限公司
永和市成功路1段43巷5號
電話：9287145

出版登記：新聞局局版台業字第2190號
初版：中華民國79年1月

定價：新台幣貳佰肆拾元正

自序

二十世紀八十年代的中華民國，因為科技發達、工商繁榮，已然躋身於世界開發中國家之列。「追求科學進步」一詞已不像清末、民初時代，是在一種匱乏的心態中談論。政府遷台四十年來，科學教育的功能從以「實利」為目標的報國建國，轉換成以「明道」為目標的培養全民的科學素養，這個現象正足以說明今日談科學教育，應從積極的紮下科學探討的根基立論。

欲期國人能够養成科學地探討事物的風氣，必然需要這個社會真正有科學地解決問題的背景，對於這一點我們可以抱著樂觀的態度，因為從社會大眾玩六合彩、大家樂和股票，還會運用電腦計算機率就可以知道，國人其實已開始用「研究」的心態來處理問題。然而如何地科學地研究，則仍有待學術界對科學本質加以闡釋，對科學探討方法加以說明，使各種研究，尤其是在科學教育領域，能更合乎科學地進行。

科學探討可以成為一種生活習慣，德國的科技至今仍傲視全球。一位旅居西德多年的朋友曾說，在德國小學生放學不必帶書包回家，回家後卻不會閒著。德國家庭差不多都有工作室，兒童在家吃過晚飯，便在工作室敲敲打打，裝置玩具、器物，或做實驗。成長過程中這種親自操作及觀察、實驗的經驗，使德國大學生與其他國家的不一樣。他們觀察、實驗、操作的技術高人一籌，而由經驗支持的、發展出來的理論見解，亦較為紮實。相形之下，我國學生太依賴看書，似乎認為從一本書看到另一本書，將書中文字炒作一番，知識即可源源不絕地誕生。

理論的本質是假設，假設的本質則來自我們對事物之間關係的洞見。如果只從書本研究科學，而很少親臨科學的現場，也就是沒有見到真實現象中事物乃至人物的關係，光靠抽象文字的介紹，所得知識是間接的、想像的、不實在的。因此想要了解科學，必須從小養成「科學地」進行科學探討的習慣，也就是從實際現象的觀察和探索中，去建立假設進而驗證的習慣。

本書的宗旨即在說明「什麼是科學地進行科學探討」，並且示範怎樣指導學生做實驗設計，進而執行實驗操作。鑑於在一個完整的科學探討中，假設、實驗和技術三者間呈現著彼此互動、互相規制的關係，作者特別稱這種假設、實驗和技術密切結合起來的探討，為結構性科學探討，並且提出它的教學模式。作者相信了解結構性科學探討的教學理論，對當前科學教育的實施會有所裨益。因為本書提出科學史上的例證、科學方法論的解說，使我們能對科學方法的本質有較清楚的認識，又從心理學對人類認知發展和概念學習的研究中，整理出人如何能學及不同年齡可能做到的程度，並從問題解決的教學理念，找出教導結構性科學探討方法的可能途徑。最後，則以作者實際辦理的科學研習營為例，驗證本書理論的合理性和有效性。

綜合言之，本書集合多種學科領域知識，來看科學教育的問題，指出科學的問題解決教學中，有關專題研究和實驗設計的教學，是可能的以及使之可能的方法。本書定名為「科學教育研究」，閱讀對象適合目前正在師範院校研習有關科學教學研究的學生使用，適合已畢業而正在國中小學服務的教師進修時參考，也適合教師用來指導資優學生進行獨立研究，或專題研究參考。資優教育的充實課程，無論是加深的或加廣的，最後都有賴學生自發地表現喜歡探討的領域，然後教師從旁協助。獨立研究是真正引發大量學習效果的方式，本書可以

為教師提供指導的觀念和原則。

任何想法或創見的領悟，都是基於學術界前輩的努力。本書若有些微概念清晰說理清楚之處，都要感謝以往為科學教育努力的先進們。尤其近二十年來國內自然科學教育研究者的著作、師大理學院諸位學人的努力，他們在科學教育方面所做的各種貢獻，是本書得以進一步形成概念，提出理論的泉源。

本書作者誠懇地感激下列諸位人士，在研究上直接和間接給予的指導。首先感謝師大教育研究所的師長們，他們承續田培林先生創所以來，強調教育的歷史研究和哲學研究的導向，使本書作者能以教育研究所的出身，而對科學教育問題，提出一種稍稍不同於心理學研究所或科學教育研究所的觀點。這種不同領域，突顯自己的學術背景，發揮所長，貢獻同一學科的努力，必然使我們對該學科有更豐富的、多方面的、而且深入的認識；其次，感謝我的博士論文指導教授——簡茂發先生和林清山先生，被他們指導，讓我體會到做學術界「大師」級學生的辛苦和快樂。學習過程中，他們不斷指引我邁向更高、更遠、更美麗的園地，我不得不努力攀爬，一旦登上高階，果然見識不同、視野開闊、胸襟擴大，從而憬悟自己的無知，了解學無止境的真義；最後，要感謝在研究過程中所有曾經給予指導和協助的師長、同學以及家人，他們的建言、支持和關懷都是使我不斷成長的原動力。作者謹以拋磚引玉的心情，敬獻研究心得於教育界之前，尚祈方家不吝賜正。相信經由開放的和坦率的指教、研究、討論，國內科學教育園地將蒂結更美好的碩果。

鍾 聖 校

民國七十八年七月
寫於省立台北師範學院

科學教育研究

目 次

緒論.....	1
一、當前科學教育的問題.....	1
二、研究目的與方法.....	8
第一章 科學探討的結構概念.....	11
第一節 結構概念的三要素.....	12
第二節 結構概念的意義.....	18
第三節 結構概念的階段模式.....	23
第二章 科學史及方法論的基礎.....	41
第一節 科技進步史的回顧.....	41
第二節 科學方法的演進.....	46
第三節 驗證觀念的演進.....	55
第三章 認知心理學的基礎.....	67
第一節 人類認知的普遍特質.....	67
第二節 科學探討能力的發展.....	76
第三節 科學探討能力的習得.....	87
第四章 科學教育的教學模式.....	97
第一節 問題解決的策略.....	98

2 科學教育研究

第二節	教學目標與教學模式·····	102
第三節	結構性與非結構性模式的比較·····	108
第五章	科學教學的實徵研究·····	125
第一節	研究目的與假設·····	125
第二節	研究方法·····	132
第三節	研究結果·····	147
第四節	分析與討論·····	157
第六章	科學教學重要變項的因果分析·····	165
第一節	因果模式之建立·····	165
第二節	研究方法·····	172
第三節	研究結果·····	177
第四節	分析與討論·····	183
第七章	走向結構性的科學教學·····	191
第一節	結構性科學教學的重要·····	191
第二節	結構性科學教學的實施·····	200
第三節	未來研究的前瞻·····	202
參考文獻	·····	207
一、中文部分	·····	207
二、英文部分	·····	215
附錄	·····	233
一、研習內容程序表	·····	235
二、牛頓營科學故事	·····	236
三、瓦特營科學故事	·····	241
四、專題研究報告(一)	·····	247
五、專題研究報告(二)	·····	252

六、專題研究報告（三）	257
七、專題研究報告（四）	262
八、牛頓營實驗室活動（一）	267
九、瓦特營實驗室活動（一）	270
十、牛頓營實驗室活動（二）	273
十一、瓦特營實驗室活動（二）	276
十二、瓦特營「大膽假設」教學綱要	280
十三、瓦特營假設檢核作業表	283
十四、瓦特營「設計實驗」教學綱要	284
十五、討論之注意事項	286
十六、牛頓營「大膽假設」教學綱要	287
十七、牛頓營「設計並執行實驗」教學綱要	289
十八、植物臘葉標本的製作	293
十九、「專題研究報告」試驗教學要點	294
二十、專題研究實驗設計表	295
廿一、一般組學生在「專題研究實驗設計表」上之作 答抽樣	297
廿二、結構組學生在「專題研究實驗設計表」上之作 答抽樣	304
廿三、非結構組學生在「專題研究實驗設計表」上之 作答抽樣	310
廿四、「科學本質理解」評量表	317
廿五、研習內容意見調查表	319
廿六、國民小學現行自然科學課程概述	321

圖 次

1-1	結構性科學探討模式圖.....	27
1-2	探討科學的過程中，歸納與演繹，「乾」實驗（ $\longleftrightarrow$ ） 與「濕」實驗（ $\langle \text{ — } \rangle$ ）模式圖.....	28
1-3	英國 APS 科學探討的循環模式圖.....	30
1-4	可用述語樹.....	34
1-5	M規制圖.....	34
1-6	W規制圖.....	35
2-1	中西科學成就的發展曲線圖.....	42
2-2	有關電磁理論——實驗的互動關係圖.....	43
2-3	有關蒸汽機理論——技術之間的互動關係圖.....	44
2-4	科學方法論顯示的理論、邏輯推理及證驗之互動圖.....	57
3-1	彎曲度問題作業圖.....	78
4-1	結構性科學探討教學模式圖.....	105
4-2	SCIS 的學習環.....	113
4-3	薩克曼探討訓練教學模式圖.....	118
4-4	探討訓練模式的教學和附學習效果圖.....	120
5-1	結構性與非結構性科學探討教學效果比較之研究架構 圖.....	132
5-2	結構性科學探討與部訂一般自然科學課程教學效果比較 之研究架構圖.....	145

6-1	結構性科學探討教學重要變項因果模式圖.....	165
6-2	結構性科學探討教學重要變項因果模式徑路圖.....	176
6-3	正規化殘差的 Q-Plot 圖.....	182
6-4	結構性科學探討教學重要變項因果模式中各母數估計值 (聚斂後) 徑路圖.....	183
7-1	「結構性科學探討教學理論」簡圖.....	191
7-2	「結構性科學探討教學理論」有關概念詳圖.....	192
8-1	蓋聶的學習階層與工作分析.....	325
8-2	現行國小自然科學課程概念組織層次圖.....	327

表 次

1-1	科學（理論——實驗）與技術的差異對照表·····	17
2-1	當代外國科學史研究中對自由落體實驗的模擬結果 比較表·····	64
3-1	依發展層次和獲得年齡排列的能力的代表性特徵表·····	84
4-1	關係假設示例表·····	106
4-2	假設檢核表·····	107
4-3	九種科學探討教學活動性質分類表·····	111
5-1	邏輯結構分數各評分者評分之相關係數矩陣·····	137
5-2	下操作型定義分數各評分者評分之相關係數矩陣·····	138
5-3	區分變因分數各評分者評分之相關係數矩陣·····	138
5-4	國小六年級學生在專題研究設計表之得分與自然科學 平均成績之得分的相關係數·····	139
5-5	科學本質理解評量表各題的因素負荷量及共同性·····	144
5-6	結構組與非結構組專題研究實驗設計三種分數之平均數 (M)、標準差 (SD) 及 T^2 考驗·····	148
5-7	結構組與非結構組專題研究實驗設計三種分數平均數 差異達顯著水準之信賴區間估計表·····	148
5-8	結構組與非結構組在科學過程技能學習層次測驗四項 分數，前後測的平均數 (M) 及標準差 (SD) ·····	149
5-9	結構組與非結構組在科學過程技能學習層次四項分數 ，前後測的 MANOVA 分析摘要表·····	150

5-10	結構組與非結構組在科學過程技能學習層次四項分數，前後測兩個平均數差異之信賴區間估計表.....	151
5-11	結構組與非結構組科學本質理解五種分數的平均數(M)、標準差(SD)及 T^2 考驗.....	152
5-12	結構組與一般組在專題研究實驗設計三項分數及共變項分數的平均數(M)、標準差(SD)	153
5-13	結構組與一般組在專題研究實驗設計三項分數的MANOCOVA分析摘要表.....	153
5-14	結構組與一般組在專題研究實驗設計三項分數平均數差異達顯著水準之信賴區間估計表.....	154
5-15	結構組與一般組科學本質理解五種分數的平均數(M)、標準差(SD)及 T^2 考驗.....	155
5-16	結構組與一般組在科學本質理解五種分數平均數差異達顯著水準之信賴區間估計表.....	155
5-17	結構組學生對結構性科學探討各單元教材活動內容之興趣百分比統計表.....	164
5-18	結構組學生對結構性科學探討各單元教材活動內容之難易程度感受百分比統計表.....	164
6-1	實驗設計評量項目對照表.....	171
6-2	假設檢核評量表評分者間的相關矩陣.....	175
6-3	接受結構性科學探討教學學生的七個變項的平均數及標準差.....	177
6-4	結構性科學探討教學效果因果關係模式中七個變項的相關係數矩陣.....	178
6-5	本因果模式分析的母數明細表.....	178

6-6	本因果模式實際觀察資料聚斂後之母數估計值及 X^2 顯著性考驗.....	179
6-7	本因果模式有關潛在變項間的徑路係數及其 t 檢定.....	181
6-8	因果模式中潛在自變項與其觀察變項之關係及 t 檢定...	181
6-9	因果模式中潛在依變項與其顯著變項之關係及 t 檢.....	181
6-10	本因果模式分析所得正規化殘差矩陣.....	186
6-11	本因果模式的15個母數估計值的顯著性考驗.....	189

緒 論

一、當前科學教育的問題

(一) 時代思想背景

結構主義思潮是第二次世界大戰以後，西方出現之影響較大的哲學與人文思潮。這個思潮的主要內容是屬於方法論的。其基本觀點認為：人們所認識的社會現象是雜亂的，沒有秩序的，要達到有秩序的認識就要掌握現象的結構。故結構主義不是哲學派別，而是結構主義方法論聯繫起來的廣泛思潮（李幼蒸，民 75）。

教育界中表現出結構主義方法論思想的實例，早在一九七〇年代教育研究的科際整合運動中已顯出。而近年教育學術界對通識教育未來開展方法和方向的觀念，也反映了結構主義方法論的思想特質。科學教育界也注意到對科學教育問題的研究應注意要以有秩序的認識掌握問題內部的關聯。例如一九八六年一月由美國柏克萊加州大學主辦改進科學教育研討會，會中便提出科學整合教育的觀念，主張今後應結合各單一學科的專家，包括認知心理學、課程專家、社會學家、在職科學教師、電腦專家及其他有關專家，一起來從事科學教育的研究發展工作，以便對科學教育問題有整合的了解（張柏年，民 76）。

本書提出結構性科學探討的概念，在「科學探討」之前冠以「結構性」一詞，並非表示作者是結構主義者。但作者在理解當前科學教育問題的努力中，確實力行了對科學教育問題做整全了解的期望。本書

對「科學探討」之教學，進行一種結合科學史、科學方法論、心理學、教育學的研究；在研究方法上是做一種整合的通觀和注重結構的理解。就這方面而言，本書的精神與結構主義方法論的精神是一致的。

(二) 學術研究背景

以下陳述的學術研究背景是從三個有關聯的現象逐步說明的。首先提出自然科學新課程的理想和目標，其次指出達成新課程目標的教學方法出現困難，然後指出目前學術界對上述困難缺乏研究的情形。

1. 自然科學新課程的理想和目標

十九世紀以來科學教育強調的是科學知識。但到了二十世紀三十年代，因杜威在「經驗與教育」一書中，強烈批評以知識為中心的教育，主張科學方法與科學知識應受到同等重視。從此，建立科學方法在科學教育上的地位，便成為教育學者努力的方向。

今日科學教育學者所共同接受的科學教育目標，包括使學生(1)具有科學的理論知識，(2)習得科學過程技能，(3)具備科學的解決問題能力，(4)養成科學態度和精神，(5)理解科學的本質及科學對社會的密切關係。這些目標可總結為使學生成為具有科學素養的人。科學教育在這種理念推展之下，中小學的科學新教材也相繼推出。美國馬利蘭大學國際科學教育資料處理中心，曾蒐集一九五六年至一九七六年間的世界各地科學新教材，共達一千餘種之多(Lockard, 1977)。其中眾所皆知的，包括如美國 SAPA (Science-A Process Approach) 課程、BSCS (Biological Science Curriculum Study) 課程、英國 SCISP (The School Council Intergrated Science Project) 課程、蘇格蘭 ISC (Scottish Intergrated Science Course) 課程、日本新科學課程、澳國 ASEP (Australian Science Education Project) 課程等

等。上述課程以及我國在民國六十四年正式公布、六十七年開始推廣使用的國小自然科學課程，皆致力促使每一個學生在科學知識、科學方法、科學態度、科學的性質及科學對社會的影響等各方面都能接受有效的教育。

2. 達成新課程目標的教學方法出現困難

新課程雖然在培養科學方法和態度上優於舊課程（Shymansky, Kyle & Alport, 1983；鍾聖校，民 73）。但隨著教育學、心理學、自然科學本身知識的擴增，當年新編的課程已暴露出許多缺點，故無法圓滿達成上述使學生在科學知識、方法、態度等方面接受有效教育的目的。

以目前我國國小自然科學課程為例，它吸收了美國 SAPA 課程的特色，採取工作分析的觀點，在教導學生科學概念時，依難易、繁簡等向度，將概念綱領分析為主概念，再分析為概念單位，分散在各冊各單元中教；同時也將科學過程技能分為基本的和統整的，分散在各冊各單元中教。這是有計畫、有順序的教學所不可避免的。但是，當一樣原本完整的事物被支解成小部分來了解，這些小部分除非再放回整體中被認識，部分的相加很難再獲得原型。例如分類，吾人很難想像當它在某單元中單獨被加強後，它能自動與其它過程技能（也在其他單元中分別被加強）相結合，最後形成一個整體的科學探討方法。在探討中一旦教師僵化地強調某技能，忽略應用其他技能，便會喪失真實地做科學探討的意義，而變成「不科學地」進行科學探討。

SAPA 課程的缺點還表現在它把科學探討和「引發」探討的科學概念畫分成不相干的事。或者將兩者的次序顛倒，把「引發」探討的科學概念，當作「被」科學探討「發現」的對象。科學方法論早已指出沒有「無理論（theory-free）引導」的觀察。例如觀察花的部分，首